

الجامعة العربية الخاصة للعلوم و التكنولوجيا

كلية هندسة الصناعات الكيميائية

قسم الهندسة الكيميائية

ملخص عملي

مبادئ الهندسة الكيميائية

Principles of Chemical Engineering

المهندس سمير سفور

الفصل الثاني 2025-2026

السنة الأولى – قسم الهندسة الكيميائية

الفهرس

مقدمة

تدرس الهندسة الكيميائية جميع العمليات الصناعية التي تجري على المواد الخام للحصول على المنتج المطلوب، فهي علم وفن يجمع بين علوم الرياضيات، والكيمياء ، والفيزياء، والترموديناميك، والميكانيك، والكهرباء والاقتصاد، والاستفادة منها بشكل علمي وفني، لتصميم جميع الأجهزة والمعدات المستخدمة في العمليات الصناعية.

لا يقتصر عمل المهندس الكيميائي على تصميم الأجهزة والمعدات بل يتعدى عمله إلى الإشراف على جميع مراحل بناء وإقامة المنشأة الصناعية ومن ثم تشغيلها وإدارتها وتطويرها.

ينبغي على طالب الهندسة الكيميائية الإلمام بالمبادئ الأساسية لإجراء الحسابات التصميمية للوحدات الصناعية، وتعتبر موازنة المادة والطاقة من الأمور الهامة جداً بالنسبة له، لأنها تشكل نقطة الانطلاق في تصميم أية عملية. فهي ضرورية لتحديد حجم المعدات، وكميات المواد الأولية، والمنتجات وتراكيبها، بالإضافة إلى كميات الطاقة اللازمة أو الناتجة عنها.

يتناول هذا الملخص بعض أهم المفاهيم والأسس التي تلزم المهندس الكيميائي خلال دراسته الجامعية وبعد تخرجه وانخراطه في سوق العمل، وهي (بالنسبة للجزء العملي):

- نظرة عامة في الهندسة الكيميائية.
- تمارين ومسائل على التعامل مع الواحدات، الغازات، الأمزجة، المحاليل.
- تمارين ومسائل على موازنة الكتلة.
- تمارين ومسائل على موازنة الطاقة.

المهندس سمير سفور

نظرة عامة في الهندسة الكيميائية

الهندسة الكيميائية Chemical Engineering :

هي العلم الذي يدرس جميع العمليات processes التي تجري على المواد الخام للحصول على منتج.



العمليات Processes :

تُصنّف العمليات التي تجري في الوحدة الصناعية إلى :

- عمليات أولية microprocess : وهي عمليات انتقال المادة وانتقال الحرارة والقوى المحركة لانتقال المادة والطاقة.
- عمليات موحدة unit operations : وهي عمليات فيزيائية مثل التقطير والتجفيف والاستخلاص والبلورة والترشيح والتبخير ....
- التفاعلات الكيميائية chemical reactions

المهندس الكيميائي Chemical Engineer :

هو الشخص الذي يقوم بـ: (تصميم – الاشراف على تنفيذ وبناء – تشغيل – تطوير – إدارة الوحدة الصناعية (أي: جميع الأجهزة التي تجري فيها مختلف العمليات التي تتألف منها هذه الوحدة).

مسائل وتمارين على المفاهيم الأساسية

التحويل بين أنظمة الواحدات:

جملة الواحدات المتفق عليها والمعتمدة عالمياً في الوقــت الحاضــر هــي جملــة الواحــدات الدولية SI ، لكن بالرغم من ذلك لا تزال بعض الدول مثل بريطانيا والولايات المتحدة تستخدم جمل واحدات خاصة بها.

يتوجب على المهندس الكيميائي الانتباه جيداً إلى تجانس الوحدات خلال عمله، حيث أن الخطــأ في هذه الناحية قد يؤدي إلى نتائج كارثية، وعلى سبيل المثال ما ذكرته وكالة الفضاء الأمريكية NASA (وهي من أهم المؤسسات العلمية والتقانية على مستوى العالم) في التحقيق حول ســبب فشل مهمة المركبة الفضائية المريخية المدارية في عام 1999 (انظر الصفحة 8).

إن العديد من المراجع العلمية الهامة والمعدات والتجهيزات التقنية والمخططــات والحســابات التصميمية لا تعتمد على جملة الواحدات الدولية SI ، لذلك غالباً ما يتطلب العمل التحويل بــين الواحدات المختلفة. من أجل ذلك تستخدم عوامل التحويل (انظر الجدول-1).

الجدول-1 : أهم عوامل تحويل الواحدات الخاصة بالهندسة الكيميائية:

الكمية Quantity	Equivalent values عوامل التحويل	
Mass الكتل	1 kg 1 lb	$= 1000$ g $= 0.001$ metric ton $= 2.20462$ lb $= 5\times10^{-4}$ ton $= 453.593$ g $= 0.453593$ kg
Length الطول	1 m 1 ft	$= 100$ cm $= 1000$ mm 10^{6} microns(μ) $= 10^{10}$ angstroms(Å) $= 39.37$ in $= 3.2808$ ft $= 1.0936$ yards $= 0.0006214$ mile $= 12$ in $= 1/3$ yard $= 0.3048$ m $= 30.48$ cm
Volume الحجم	1 m^3 1 ft^3	$= 1000$ liters $= 10^{6}$ cm^3 $= 10^{6}$ ml $= 1728$ in^3 $= 7.4805$ gallons $= 0.028317$ m^3 $= 28.317$ liters $= 28317$ cm^3
Force القوة	1 N 1 lb_f 1 dyne	$= 1$ $kg{\cdot}m/s^2$ $= 10^{5}$ dynes $= 10^{5}$ $g{\cdot}cm/s^2$ $= 0.22481$ lb_f $= 32.174$ poundal $= 32.174$ $lb{\cdot}ft/s^2$ $= 4.4482$ N $= 4.4482\times10^{5}$ dynes $= 1$ $g.cm/s^2$
Pressure الضغط	1 atm	$= 1.01325\times10^{5}$ N/m^2(Pa) $= 1.01325$ bars $= 1.10325\times10^{6}$ $dynes/cm^2$ $= 760$ mm Hg @ 0°C(torr) $= 10.333$ m H_2O@ 4°C $= 14.696$ lb_f/in^2 (psi) $= 33.9$ ft H_2O @ 4°C $= 29.291$ in Hg @ 0°C
الطاقة أو العمل Energy	1 J	$= 1$ $N{\cdot}m$ $= 10^{7}$ ergs $= 10^{7}$ $dyne{\cdot}cm$ $= 2{,}778\times10^{7}$ $kW{\cdot}hr$ $= 0.23901$ cal $= 0.7376$ $ft{\cdot}lb_f$ $= 9.486\times10^{-4}$ Btu
القدرة أو الاسطاعة Power	1 W	$= 1$ J/s $= 0.23901$ cal/s $= 0.7376$ $ft{\cdot}lb_f/s$ $= 9.486\times10^{-4}$ Btu/s $= 1.341\times10^{-3}$ hp

مثال: لإيجاد طول شخص 6 ft بما يقابله بواحدة الـــ cm نقوم بما يلي:

أولاً : من الجدول-1 نجد عامل التحويل بين القدم والسنتميتر : 1 ft = 30.48 cm

ثانياً : نضرب طول الشخص 6 ft بمعامل التحويل الذي تتم كتابته بشكل كسر $\left.\frac{30.48\ cm}{1\ \ ft}\right|$

(نضع ft في المقام و cm في البسط بحيث نختصر الـــ ft مع الـــ ft وتبقى الواحدة المطلوبة وهي الـــ cm)، أي:

$$\left.\frac{6\ \cancel{ft}}{}\right|\left.\frac{30.48\ \ cm}{1\ \ \cancel{ft}}\right| = \frac{6\times 30.48\ cm}{1} = 182.9\ cm$$

مسألة-1 : المطلوب إجراء التحويلات التالية:

a- كثافة الماء التي تساوي $1\ g/cm^3$ إلى ما يعادلها بواحدة lb/ft^3

b- المقدار $100\ lb\cdot ft/min^2$ إلى ما يعادله بواحدة $kg\cdot cm/s^2$

c- المقدار 10 N إلى ما يعادله بواحدة lb_f

d- المقدار $100\ lb_f$ إلى ما يعادله بواحدة $kg\cdot m/s^2$

الحل:

-a
$$\left.\frac{1\ \ \cancel{g}}{\cancel{cm}^3}\right|\left.\frac{1\ \ \ lb}{454\cancel{g}}\right|\left.\frac{(30.48)^3\cancel{cm}^3}{1^3\ \ \ \ ft^3}\right| = \frac{1\times1\times(30.48)^3\ lb}{454\ \times\ 1^3\ \ \ ft^3} = 62.37\ \frac{lb}{ft^3}$$

-b
$$\left.\frac{100\ \ \cancel{lb}\cdot\cancel{ft}}{\cancel{min}^2}\right|\left.\frac{0.454\ \ \ kg}{1\ \ \ \ \cancel{lb}}\right|\left.\frac{30.48\ \ \ cm}{1\ \ \ \ \cancel{ft}}\right|\frac{1\ \ \ \ \ \ \ \cancel{min}^2}{(60)^2\ \ s^2} = 0.384\ \ kg.cm/s^2$$

-c
$$\left.\frac{10\cancel{N}}{}\right|\left.\frac{lb_f}{4.4482\cancel{N}}\right| = 2.248\ lb_f$$

-d
$$\left.\frac{100\ \cancel{lb}_f}{}\right|\left.\frac{4.4482\cancel{N}}{1\ \cancel{lb}_f}\right|\left.\frac{1\ \frac{kg\cdot m}{s^2}}{1\cancel{N}}\right| = 444.82\ \frac{kg\cdot m}{s^2}$$

واحدات درجة الحرارة:

علاقات التحويل بين المقاييس المختلفة وفق العلاقات:

$$T_{(K)} = T_{(C)} + 273 \qquad (1) \qquad\qquad T_{(R)} = T_{(F)} + 460 \qquad (3)$$

$$T_{(F)} = 1.8T_{(C)} + 32 \qquad (2) \qquad\qquad T_{(R)} = 1.8T_{(K)} \qquad (4)$$

والفرق بين درجات الحرارة بمقياس °C يماثل الفرق بدرجات K ويماثل 1.8 من فرق درجات الحرارة °F و°R ، وتعطى علاقة فروق درجات الحرارة وفق العوامل التالية:

$$\frac{1.8°F}{1°C},\ \frac{1.8°R}{1\ K},\ \frac{1°F}{1°R},\ \frac{1°C}{1\ K} \qquad (5)$$

مسألة-2 : حدد الفرق بين درجتي الحرارة 10 °F و 50 °F بواحدة درجة الحرارة المئوية °C.

الحل:

الطريقة الأولى: بتحويل كل درجة إلى ما يقابلها في السلم الآخر ومـن ثـم حسـاب الفـرق باستخدام العلاقة (2) :

$$T_{(F)} = 1.8T_{(C)} + 32 \rightarrow T_{(C)} = \frac{T_{(F)} - 32}{1.8}$$

$$T_{1(C)} = \frac{10 - 32}{1.8} = -12.22\ °C$$

$$T_{2(C)} = \frac{50 - 32}{1.8} = 10\ °C$$

$$T_{2(C)} - T_{1(C)} = 10 - (-12.22) = 22.22\ °C$$

الطريقة الثانية: باستخدام عامل التحويل للفرق والموضح في العلاقة (5)

$$\Delta T_{(C)} = \Delta T\ °F \left| \frac{1°C}{1.8°F} \right.$$

$$\Delta T_{(C)} = (50 - 10)°F \left| \frac{1°C}{1.8°F} \right. = 22.22\ °C$$

قانون الغازات العام

P·V = n·R·T (6)

تختلف قيم ثابت الغازات العام R حسب الواحدات المستخدمة للحجم المولي والضغط ودرجـة الحرارة، على سبيل المثال:

$R = 8.314\ m^3 \cdot Pa/mol \cdot K$
$R = 1.987\ cal/mol \cdot K$
$R = 0.08206\ L \cdot atm/mol \cdot K$

يبلغ حجم 1 mol لأي غاز عند الشروط القياسية: V = **22.4 L/mol** = 359 ft^3/lb mol

الشروط القياسية هي:

- درجة الحرارة: **T** = 0 °C = **273 K**
- الضغط الجوي: **P = 1 atm**

مسألة-3 :

احسب كتلة كمية من بخار الماء حجمها $50\ m^3$ عند الضغط 0.1 atm ودرجة الحرارة 25°C

الحل:

الطريقة الأولى: يمكن استخدام علاقة الغاز المثالي لحساب عدد مولات بخار الماء، ولكن يجب الانتباه إلى تجانس الواحدات عند التعويض بقيمة ثابت الغازات العام R :

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \ \Rightarrow$$

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{0.1\ atm \times 50\ m^3 \times 1000\ L \cdot m^{-3}}{0.08206\ L \cdot atm \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1} \times 298\ K} = 204.47\ mol$$

$$m = n \cdot M = 204.49\ mol \ \times 18\ \ g \cdot mol^{-1} = 3680.46\ \ g \cong 3.68\ kg$$

الطريقة الثانية: في حال عدم معرفة قيمة R يمكن أخذ الحالة القياسية:

$$at: \ \ P_s = 1\ atm \ , \ T_s = 273\ K \ , \ n_s = 1 \ \Rightarrow V_s = 22.4\ \ L$$

وبإجراء تناسب ما بين الحالة القياسية والحالة التي بين يدينا:

$$\frac{P \cdot V}{P_s \cdot V_s} = \frac{n \cdot R \cdot T}{n_s \cdot R \cdot T_s} \ \ \Rightarrow \ \ \frac{P \cdot V}{P_s \cdot V_s} = \frac{n \cdot T}{n_s \cdot T_s} \ \ \Rightarrow \ \ n = \frac{P \cdot V \cdot n_s \cdot T_s}{P_s \cdot V_s \cdot T}$$

$$n = \frac{0.1\ atm \times 50\ m^3 \times 1000\ L \cdot m^{-3} \times 1\ mol \times 273\ K}{1\ atm \times 22.4\ L \times 298\ K} = 204.49\ mol$$

$$\Rightarrow \ \ m = n \cdot M = 3680.82\ \ g \cong 3.68\ kg$$

مسألة-4 : أحسب معدل التدفق الحجمي لـ 100 kg/h من غاز الهيدروجين H_2 عند درجة الحرارة 100 °C والضغط 3 atm ، علماً أن $M_{(H_2)} = 2\ g/mol = 2kg/kmol$

الحل: نحسب أولاً التدفق المولي :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{100\ kg \cdot h^{-1}}{2\ kg \cdot kmol^{-1}} = 50 \ \ kmol \cdot h^{-1}$$

يمكن متابعة الحل بطريقتين، مثل المسألة السابقة، باستخدام قانون الغازات العام أو بإجراء تناسب مع الحالة القياسية. الطريقة الأولى: باستخدام علاقة الغاز المثالي :

$$P \cdot V = \ n \cdot R \cdot T \ \ \Rightarrow V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} =$$

$$= \frac{50 \times 1000\ \text{mol} \cdot \text{h}^{-1} \times 0.08206\ \text{L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (273 + 100)\text{K}}{3\ \text{atm}}$$

$$= 510139.7\ \ \text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cong\ \ 510\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

الطريقة الثانية: بإجراء تناسب مع الحالة القياسية :

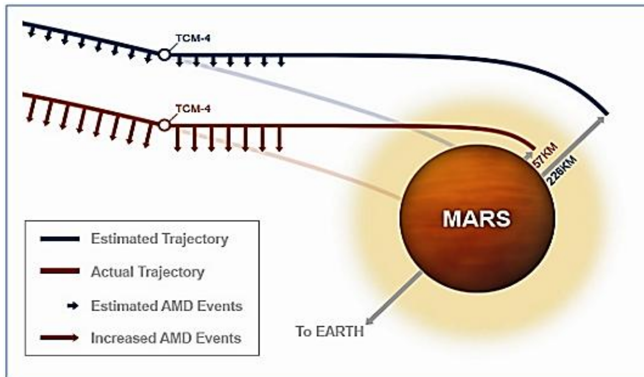
$$\frac{P \cdot V}{P_s \cdot V_s} = \frac{n \cdot T}{n_s \cdot T_s} \quad \Rightarrow \quad V = \frac{P_s \cdot V_s \cdot n \cdot T}{n_s \cdot T_s \cdot P} \quad \Rightarrow$$

$$V = \frac{1\ \text{atm} \times 22.4\ \text{L} \times 50 \times 1000 \times (273 + 100)\text{K}}{1\ \text{mol} \times 273\ \text{K} \times 3\ \text{atm}} =$$

$$= 510085.5\ \ \text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cong\ \ 510\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

للمطالعة: أحد الأخطاء الشهيرة الناجمة عن عدم الانتباه إلى تجانس الواحدات





في 23 أيلول 1999 ، خسرت وكالة ناسا NASA المركبة الفضائية المريخية المدارية التي بلغت كلفتها 125 مليون دولار بعد رحلة استغرقت 286 يوماً إلى المريخ.

يبدو أن الحسابات الخاطئة بسبب استخدام الواحدات الإنجليزية بدلاً من الواحدات المترية أدت إلى انحراف المركبة ببطء عن مسارها 60 ميلاً في المجموع، حيث تم استخدام قوة دفع المحرك الصاروخي المخصص للمساعدة في توجيه المركبة الفضائية، على مدار أشهر، بشكل غير صحيح لأن البيانات المستخدمة للتحكم في ذلك تم حسابها في وحدات غير صحيحة.

والسبب هو أن شركة Lockheed Martin الموردة للمحرك الصاروخي كانت تقوم بحسابات قوة الدفع بواحدات إنجليزية (باوند قوة lb_f) وترسل البيانات إلى ناسا، بينما كان فريق الملاحة التابع لناسا والذي يقوم بتوجيه المركبة الفضائية المريخية يتوقع واحدات مترية (نيوتن N).

عنوان التحقيق في سبب هذا الحادث:

https://sma.nasa.gov/docs/default-source/safety-messages/safetymessage-2009-08-01-themarsclimateorbitermishap.pdf

تركيب الأمزجة composition of mixtures

تتألف التيارات الداخلة إلى أية عملية أو الخارجة منها، من مزيج من عدة سوائل أو غازات أو محاليل مواد في مذيبات مختلفة، ونادراً ما تكون المادة نقية أو مركباً واحداً، ويتم تحديد كمية المادة i في مزيج مؤلف من عدة مواد بمعرفة كمية المزيج وتركيبه، وهناك عدة طرق تستخدم للتعبير عن هذا التركيب منها:

الكسر الوزني: يعرف الكسر الوزني للمادة i بأنه نسبة كتلة هذه المادة إلى كتلة المزيج، ويكون مجموع الكسور الوزنية لمواد أي مزيج يساوي الواحد أي:

$$\bar{x}_i = \frac{m_i}{m} \qquad (7)$$

$$\sum \bar{x}_i = 1 \qquad (8)$$

الكسر المولي: يعرف الكسر المولي للمادة i بأنه نسبة عدد مولات i ، إلى المجموع الكلي لعدد مولات المزيج، ويكون مجموع الكسور المولية لمواد أي مزيج مساوياً الواحد أي:

$$x_i = \frac{n_i}{n} \qquad (9)$$

$$\sum x_i = 1 \qquad (10)$$

الكسر الحجمي: يعرف الكسر الحجمي للمادة i بأنه نسبة حجم المادة i إلى الحجم الكلي للمزيج

$$\varphi_i = \frac{V_i}{V} \qquad (11)$$

هام: إذا كانت معادلة الغازات العامة تنطبق على المزيج الغازي وعلى مواده، فإن:

الكسر الحجمي = الكسر المولي = نسبة الضغط الجزئي إلى الضغط الكلي

$$\varphi_i = x_i = \frac{n_i}{n} = \frac{V_i}{V} = \frac{P_i}{P} \qquad (12)$$

التحويل من كسر مولي إلى وزني:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i} \qquad (13)$$

التحويل من كسر وزني إلى مولي:

$$x_i = \frac{\frac{\bar{x}_i}{M_i}}{\sum \frac{\bar{x}_i}{M_i}} \qquad (14)$$

الوزن الجزيئي المتوسط لمزيج مؤلف من المواد A ، B ، C .... :

$$\frac{1}{\bar{M}} = \frac{\bar{x}_A}{M_A} + \frac{\bar{x}_B}{M_B} + \frac{\bar{x}_C}{M_C} + \cdots = \sum \frac{\bar{x}_i}{M_i} \qquad (15)$$

$$\bar{M} = x_A . M_A + x_B . M_B + x_C . M_C + \cdots = \sum x_i M_i \qquad (16)$$

مسألة-5 :

أحسب التركيب الوزني للمزيج الغازي ذي التركيب المولي التالي:

N_2=58% , CO_2=20% , CO=2% , CH_4=10% , O_2=10%

الحل:

الطريقة الأولى: نأخذ كأساس للحسابات 1 mol من المزيج الغازي، فيكون عدد المولات لكل مكون من لمكونات المزيج (أي الكسور المولية في هذه الحالة لأن عدد مولات المزيج=1):

$$n_{N_2} = 0.58 \quad mol$$
$$n_{CO_2} = 0.2 \quad mol$$
$$n_{CO} = 0.02 \quad mol$$
$$n_{CH_4} = 0.1 \quad mol$$
$$n_{O_2} = 0.1 \quad mol$$

وتكون كتلة كل منها:

$$m_i = n_i \times M_i$$
$$m_{N_2} = 0.58 \times 28 = 16.28 \quad g$$
$$m_{CO_2} = 0.2 \times 44 = 8.8 \quad g$$
$$m_{CO} = 0.02 \times 28 = 0.56 \quad g$$

$$m_{CH_4} = 0.1 \times 16 = 1.6 \quad g$$
$$m_{O_2} = 0.1 \times 32 = 3.2 \quad g$$

وتكون كتلة المزيج:

$$m = \sum m_i$$

$$m = 16.28 + 8.8 + 0.56 + 1.6 + 3.2 = 30.4 \quad g$$

وتكون الكسور الوزنية:

$$\bar{x}_i = m_i / m$$

$$\bar{x}_{N_2} = 16.28/ 30.4 = 0.534$$
$$\bar{x}_{CO_2} = 8.8/ 30.4 = 0.289$$
$$\bar{x}_{CO} = 0.56/ 30.4 = 0.018$$
$$\bar{x}_{CH_4} = 1.6/ 30.4 = 0.053$$
$$\bar{x}_{O_2} = 3.2/ 30.4 = 0.105$$

الطريقة الثانية : باستخدام علاقة التحويل من كسر مولي إلى كسر وزني (العلاقة13):

$$\bar{x}_i = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i}$$

عندما نأخذ 1 mol من المزيج كأساس للحسابات يكون عدد مولات كل مركب في المزيج مساوياً إلى الكسر المولي للمركب، وعليه يكون:

$$\sum x_i M_i = 0.58 \times 28 + 0.2 \times 44 + 0.02 \times 28 + 0.1 \times 16 + 0.1 \times 32$$
$$= 30.4$$

$$\Rightarrow \bar{x}_{N_2} = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i} = \frac{0.85 \times 28}{30.4} = 0.534$$

$$\bar{x}_{CO_2} = \frac{0.2 \times 44}{30.4} = 0.289$$

$$\bar{x}_{CO} = \frac{0.02 \times 28}{30.4} = 0.018$$

$$\bar{x}_{CH_4} = \frac{0.1 \times 16}{30.4} = 0.053$$

$$\bar{x}_{O_2} = \frac{0.1 \times 32}{30.4} = 0.105$$

مسألة-6 :

مزيج من الإيتانول C_2H_5OH والماء H_2O كتلته 500 kg وكتلة الإيتانول فيه 375 kg والمطلوب :

a- حساب الكسور الوزنية لكل من الإيتانول والماء

b- حساب الكسور المولية لكل من الإيتانول والماء

الحل:

a- نحسب كتلة الماء أولاً ، ثم الكسور الوزنية :

$$m_{H2O} = 500 - 375 = 125 \quad kg$$

$$\bar{x}_{H2O} = \frac{m_{H2O}}{m} = \frac{125}{500} = 0.25$$

$$\bar{x}_{H2O} = \frac{m_{C2H5OH}}{m} = \frac{375}{500} = 0.75$$

b- نستخدم العلاقة 14 للتحويل من كسر وزني إلى مولي:

$$x_i = \frac{\frac{\bar{x}_i}{M_i}}{\sum \frac{\bar{x}_i}{M_i}}$$

$$x_{H2O} = \frac{\frac{\bar{x}_i}{M_i}}{\sum \frac{\bar{x}_i}{M_i}} = \frac{\frac{\bar{x}_{H2O}}{M_{H2O}}}{\frac{\bar{x}_{H2O}}{M_{H2O}} + \frac{\bar{x}_{C2H5OH}}{M_{C2H5OH}}} = \frac{\frac{0.25}{18}}{\frac{0.25}{18} + \frac{0.75}{46}} = 0.46$$

$$\Rightarrow x_{C2H5OH} = 1 - 0.46 = 0.54$$

ملاحظة: في حال نسيان علاقة التحويل، من الممكن حل هذا الطلب بحساب عدد مولات كل مركب في المزيج، ثم إيجاد عدد المولات الكلي للمزيج، ثم نسب عدد مولات كل مركب إلى عدد المولات الكلي، وبذلك نكون قد أوجدنا الكسر المولي لكل مركب.

مسألة-7 :

المطلوب حساب: a- الكتلة المولية الوسطية للهواء. b- كثافة الهواء عند الشروط القياسية.

علماً أن تركيبه الحجمي هو: $N_2 = 79\%$, $O_2 = 21\%$

الحل:

a- باعتبار الهواء غاز مثالي أي ينطبق عليه وعلى مكوناته القانون العام للغازات، فإن الكسور الحجمية لمكوناته تساوي الكسور المولية، أي نستطيع كتابة التالي:

المكوِّن	i	N_2	O_2
التركيب الحجمي%	%	79	21
الكسر الحجمي	φ_i	0.79	0.21
الكسر المولي	x_i	0.79	0.21
الكتلة المولية	M (g/mol)	28	32

نعوض في العلاقة 16 :

$$\bar{M} = \sum x_i M_i = 0.79 \times 28 + 0.21 \times 32 = 28.84 \quad g \cdot mol^{-1}$$

b- كثافة الهواء عند الشروط القياسية:

من المعروف أن حجم 1 mol من الغاز عند الشروط القياسية يساوي 22.4 L ، نعوض في علاقة الكثافة:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{28.84 \ \ g \cdot mol^{-1}}{22.4 \quad L \cdot mol^{-1}} = 1.287 \quad g \cdot L^{-1}$$

مسألة-8 :

أخذت عينة من محلول مادة صلبة في الماء حجمها $200\ cm^3$ وجففت نهائياً من الماء، وتبين بأن كتلة المادة الصلبة المتبقية هو 50 g ، وذات كثافة $2200\ kg/m^3$ ، والمطلوب حساب:

a- الكسر الحجمي b- الكسر وزني c- تركيز المادة الصلبة في المحلول.

علماً أن كثافة الماء $1\ g/cm^3$.

الحل:

أولاً: يجب مجانسة الواحدات. جميع الكميات معطية بالجملة الثغثية CGS ما عدا كثافة المادة الصلبة معطية بالجملة الدولية SI . لذلك نحولها إلى الجملة CGS

$$\rho_s = \frac{2200\ \ kg}{m^3}\left|\frac{10^3 \quad g}{1 \quad kg}\right|\frac{1 \qquad m^3}{10^6 \ \ cm^3}\right| = 2.2 \quad g/cm^3$$

a- نستخدم العلاقة 11 :

$$\varphi_s = \frac{V_s}{V} = \frac{\frac{m_s}{\rho_s}}{V} = \frac{\frac{50\ \text{g}}{2.2\ \text{g}\cdot\text{cm}^3}}{200\ \text{cm}^3} = 0.1136$$

b- نستخدم العلاقة 7 :

$$\bar{x}_s = \frac{m_s}{m} = \frac{m_s}{m_s + m_l} = \frac{m_s}{m_s + \rho_l V_l} = \frac{m_s}{m_s + \rho_l (V - V_s)} =$$

$$= \frac{m_s}{m_s + \rho_l \left(V - \frac{m_s}{\rho_s}\right)} = \frac{50}{50 + 1 \times \left(200 - \frac{50}{2.2}\right)} = 0.22$$

c- التركيز هو نسبة كتلة المادة الصلبة إلى حجم المحلول:

$$C_s = \frac{m_s}{V} = \frac{50}{200} = 0.25 \quad \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

تركيب المحاليل composition of solutions

التركيز: يعرف تركيز المادة i في مزيج بأنه نسبة كتلة المادة i إلى الحجم الكلي للمزيج

$$C_i = \frac{m_i}{V} \qquad (17)$$

التركيز المولي: وهو نسبة عدد مولات المركب i في مزيج إلى الحجم الكلي للمزيج.

$$d_i = \frac{n_i}{V} \qquad (18)$$

المولارية: وهي عدد مولات المركب في ليتر من المحلول.

$$M_i = \frac{n_i}{V\ (L)} \qquad (19)$$

النظامية: وهي عدد المكافئات الغرامية من المركب في ليتر من المحلول.

$$N = \frac{\text{Number of gram equivalents}}{V\ (L)} \qquad (20)$$

المولالية: وهي عدد مولات المركب المذابة في 1 kg من المذيب.

$$\text{molality} = \frac{n_i}{m_{sol}\ (kg)} \qquad (21)$$

المكافئ الغرامي: هو الكتلة المكافئة من مادة تكفي لإتمام التفاعل مع 1 mol من أيونات الهيدروجين H^+ أو للتفاعل مع 1 mol من أيونات الهيدروكسيل OH^- في تفاعلات الحموض والأسس، أو لتفاعل مع، أو لإتمام التفاعل مع 1 mol من الإلكترونات e^- في تفاعلات الأكسدة والإرجاع. أي:

المكافئ الغرامي = الكتلة المولية ÷ عدد (H+) أو عدد (OH-) أو عدد (e-)

الجدول-2 : بعض الأمثلة عن حساب المكافئ الغرامي:

المركب	HCl	H_2SO_4	H_3PO_4	NaOH	$Ca(OH)_2$
الكتلة المولية (g/mol)	36.5	98	98	40	74
المكافئ الغرامي (g)	36.5/1=	98/2=	98/3=	40/1=	74/2=
	36.5	49	32.67	40	37

قانون المعايرة : عندما إجراء عملية معايرة حمض مع أساس مثلاً، فإنه عند نقطة التكافؤ يكون:

جداء نظامية المحلول الأول (الحمض) في حجمه = جداء نظامية المحلول الثاني (الأساس) في حجمه

أي:

$$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2 \qquad (22)$$

<u>التركيز wt%</u> : وهو نسبة كتلة المركب إلى كتلة المزيج (أو المحلول) جداء 100

$$wt\% = \frac{m_i}{m} \times 100 \qquad (23)$$

مسألة-9 :

a- احسب كتلة حبيبات NaOH النقية اللازمة لتحضير 1 L من محلول 0.1N-NaOH

b- احسب حجم محلول 0.05N-HCl اللازم لمعايرة 10 ml من المحلول السابق.

الحل:

a- لتحضير محلول 0.1N من هيدروكسيد الصوديوم يلزمنا 0.1 مكافئ غرامي (أي 0.1 مول) منه لكل 1 L محلول.

كتلة NaOH اللازمة : 0.1 mol × 40 g/mol = 4 g

طريقة التحضير:

نقوم بوزن NaOH 4 g بدقة باستخدام ميزان إلكتروني حساس. ثم نضعها في دورق حجمي سعته 1000 ml ثم نضيف قليل من الماء المقطر ونحرك حتى تمام ذوبان الحبيبات. بعدها نضيف ماء مقطر حتى يصبح حجم المحلول النهائي 1 L بالتمام و الكمال.

b- نستخدم لحل هذا الطلب قانون المعايرة (العلاقة 22) :

$N_{NaOH} \cdot V_{NaOH} = N_{HCl} \cdot V_{HCl}$

$V_{HCl} = (N_{NaOH} \cdot V_{NaOH}) / N_{HCl}$

$V_{HCl} = (0.1 \times 10\ ml) / 0.05 = 20\ ml$

مسألة-10 :

احسب كتلة محلول HCl ذي التركيز 37 wt% اللازم لتحضير 1 L من محلول 0.1N-HCl ، ثم أحسب حجمه، علماً أن كثافته 1.19 g/ml

الحل:

لتحضير محلول 0.1N من حمض كلور الماء يلزمنا 0.1 مكافئ غرامي منه لكل 1 L محلول، أي يلزمنا 0.1 mol منه لكل 1 L محلول.

كتلة HCl اللازمة: 0.1 mol × 36.5 g/mol = 3.65 g

كل 100 g محلول HCl 37 wt% تحتوي 37 g من HCl

كل g y محلول HCl 37 wt% تحتوي 3.65 g من HCl

⇐ كتلة المحلول اللازم : $y = (100 \times 3.65) / 37 = 9.865$ g

⇐ حجم المحلول اللازم : $V = m / \rho = 9.86 / 1.19 = 8.3$ ml

مسألة-11 :

لدينا برج امتصاص غاز HCl المبين في الشكل، والمطلوب حساب:

a- التدفق الكتلوي

b- التركيز wt%

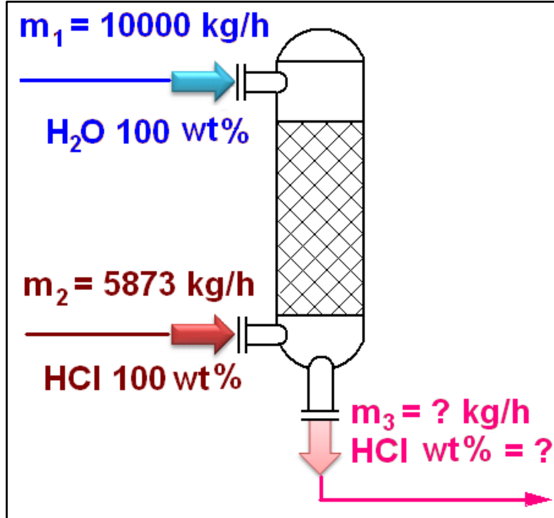
c- المولالية

d- المولارية

e- النظامية

كل ذلك لمحلول HCl الخارج من البرج.

علماً أن كثافته تساوي 1.19 g/ml



الحل:

a- **التدفق الكتلوي** : حسب مبدأ لافوازييه في مصونية المادة، فإن:

كتلة المواد الداخلة إلى البرج تساوي كتلة المواد الخارجة منه

أي :

$m_1 + m_2 = m_3$

كتلة محلول HCl الخارج: $\Rightarrow m3 = 10000\ \text{kg/h} + 5873\ \text{kg/h} = 15873\ \text{kg/h}$

b- كما هو واضح من الشكل فإن كتلة HCl في التيار الخارج من البرج 5873 kg/h وعليه يكون **التركيز wt%** (نعوض في العلاقة 23):

$\text{HCl wt\%} = (5873 / 15873) \times 100 = 36.99\% \approx 37$ wt%

c- **المولالية :**

كتلة المذيب وهو الماء في التيار الخارج هي : 10000 kg/h نعوض في العلاقة 21 :

$$\text{Molality of HCl} = \frac{n_{HCl}}{m_{H2O}} = \frac{\dfrac{5873 \times 1000\ g \cdot h^{-1}}{36.5\ g \cdot mol^{-1}}}{10000\ kg \cdot h^{-1}} = 16.1 \frac{\text{mol}}{\text{kg}}$$

d– **المولارية** : علينا حساب عدد مولات HCl في التيار الخارج وحساب حجم التيار الخارج أيضاً، ثم التعويض في العلاقة 19 :

عدد مولات في التيار الخارج:

$$n_{HCl} = \frac{m_{HCl}}{M_{HCl}} = \frac{5873\ \frac{kg}{h}}{36.5\ \frac{kg}{kmol}} = 160.904\frac{kmol}{h} = 160904\frac{mol}{h}$$

حجم التيار الخارج:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{15873\ \ kg/h}{1.19\ \frac{g}{ml}\ \times 10^3\frac{ml}{L}\times 10^{-3}\frac{kg}{g}} = 13339\frac{L}{h}$$

المولارية:

$$M_{HCl} = \frac{n_{HCl}}{V\ (L)} = \frac{160904\frac{mol}{h}}{13339\frac{L}{h}} = 12.06\frac{mol}{L}$$

e– **النظامية** : هي عدد المكافئات الغرامية في ليتر من المحلول

المكافئ الغرامي لــ HCl : $36.5 \div 1 = 36.5$ g

المكافئ الغرامي لــ HCl يساوي 36.5 g أي يساوي كتلة 1 mol من HCl ، وهذا يعني أن عدد المكافئات الغرامية في ليتر من المحلول (أي النظامية) يساوي في حالتنا هذه إلى عدد المولات في ليتر من المحلول (أي المولارية) ، وبناء عليه فإن نظامية المحلول في التيار الخارج تساوي 12.06

أو باستخدام العلاقة 20 نجد:

$$N = \frac{\text{Number of gram equivalents}}{V\ (L)} = \frac{160904\frac{No.Eq.}{h}}{13339\frac{L}{h}}$$

$$= 12.06\frac{No.Eq.}{L} \approx 12N\text{-}HCl$$

مراجعة المفاهيم الأساسية

مسألة-12 :

المطلوب تحويل الكمية $48\ lb{\cdot}ft/min^2$ إلى ما يقابلها بواحدة $kg{\cdot}cm/s^2$

الحل: $46\ lb{\cdot}ft/min^2 \rightarrow ?\ kg{\cdot}cm/s^2$

نستخدم الجدول-1 (الصفحة رقم 4) لاستخراج عوامل التحويل اللازمة:

1 lb = 0.454 kg
1 ft = 30.48 cm
1 min = 60 s

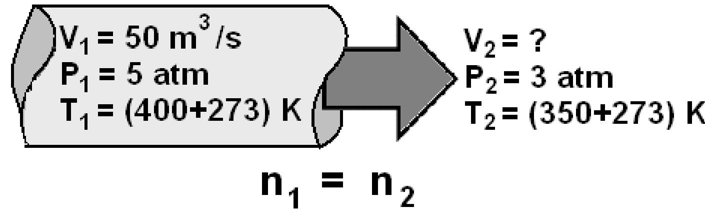
ثم نضع لكل عامل تحويل خط كسر ونضع عوامل التحويل بحيث تلغي القيمة الجديدة القيمة القديمة، أي lb موجودة في البسط فنقوم بوضعها بالمقام والوحدة الجديدة kg في البسط، والعكس صحيح وهكذا..

$$46\ \frac{lb_m \cdot ft}{min^2} \left| \frac{0.454\ kg}{1\ lb_m} \right| \frac{30.48\ cm}{1\ ft} \left| \frac{(1)^2\ min^2}{(60)^2\ s^2} \right. =$$

$$= \frac{46 \times 0.454 \times 30.48 \times 1}{1 \times 1 \times 1 \times 3600} = 0.1768\ \frac{kg \cdot cm}{s^2}$$

مسألة-13 :

يتدفق بخار الماء ضمن أنبوب بمعدل $50\ m^3/s$ عند الضغط 5 atm ودرجة الحرارة 400 °C ، والمطلوب حساب التدفق الحجمي للبخار الخارج من الأنبوب عند الضغط 3 atm ودرجة الحرارة 350 °C :

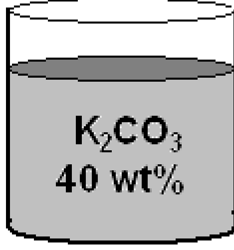


الحل: من القانون العام للغازات نستطيع كتابة:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{P_2 \cdot V_2} = \frac{n_1 \cdot R \cdot T_1}{n_2 \cdot R \cdot T_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{P_1 \cdot V_1}{P_2 \cdot V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \Rightarrow V_2 = \frac{P_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{P_2 \cdot T_1}$$

$$V_2 = \frac{5\ atm \times 50\ m^3 \cdot s^{-1} \times (400+273)K}{3\ atm \times (350+273)K} = 77.14\ \ m^3 \cdot s^{-1}$$

مسألة-14 :



يحتوي محلول مائي لكربونات البوتاسيوم K_2CO_3 على 40% وزناً كربونات البوتاسيوم، والمطلوب حساب النسبة المئوية المولية لكربونات البوتاسيوم في المحلول.

الحل: النسبة المئوية المولية = الكسر المولي × 100

نأخذ أساس الحسابات 100 g من المحلول: فتكون كتلة كربونات البوتاسيوم فيه 40 g

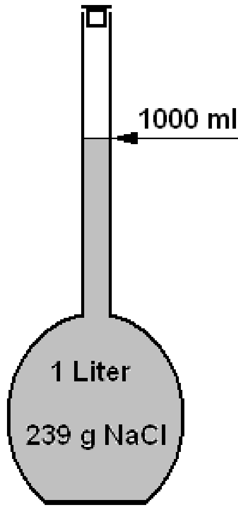
⇐ كتلة الماء : 100 g – 40 g = 60 g

$$x_{K2CO3} = \frac{n_{K2CO3}}{n_{K2CO3} + n_{H2O}} = \frac{\frac{m_{K2CO3}}{M_{K2CO3}}}{\frac{m_{K2CO3}}{M_{K2CO3}} + \frac{m_{H2O}}{M_{H2O}}} =$$

$$= \frac{\frac{40\ g}{138\ g \cdot mol^{-1}}}{\frac{40\ g}{138\ g \cdot mol^{-1}} + \frac{60\ g}{18\ g \cdot mol^{-1}}} = 0.08$$

النسبة المئوية المولية: 0.08 ×100 = 8%

مسألة-15 :



يحتوي محلول ملح الطعام في الماء 230 g من NaCl في الليتر من المحلول ذي الكثافة $1.148\ g/cm^3$ والمطلوب احسب:

a- التركيب الوزني   b – التركيب المولي

c- كثافة NaCl

d – الكسر الحجمي للماء، علماً أن كثافة الماء $1\ g/cm^3$

الحل:

نأخذ أساس الحسابات $1\ L\ (1000\ cm^3)$ من المحلول:

كتلة المحلول : $m = \rho \times V = 1.148\ g/cm^3 \times 1000\ cm^3 = 1148\ g$

كتلة الماء : $m_{H2O} = m - m_{NaCl} = 1148\ g - 230\ g = 918\ g$

a – التركيب الوزني :

$$NaCl\ wt\% = \frac{m_{NaCl}}{m} \times 100 = \frac{230\ g}{1148\ g} \times 100 = 20.03\% \cong 20\%$$

$$\Rightarrow H_2O\ wt\% = 100\% - 20\% = 80\%$$

b − التركيب المولي لـــ NaCl:

$$\frac{n_{NaCl}}{n} \times 100 = \frac{n_{NaCl}}{n_{NaCl} + n_{H2O}} \times 100 = \frac{\frac{m_{NaCl}}{M_{NaCl}}}{\frac{m_{NaCl}}{M_{NaCl}} + \frac{m_{H2O}}{M_{H2O}}} \times 100 =$$

$$= \frac{\frac{230}{58.5}}{\frac{230}{58.5} + \frac{918}{18}} \times 100 = 7.16\ \%$$

التركيب المولي للماء : 100% -7.16% = 92.84%

c − كثافة NaCl:

$$\rho_{NaCl} = \frac{m_{NaCl}}{V_{NaCl}} = \frac{m_{NaCl}}{V - V_{H2O}} = \frac{m_{NaCl}}{V - \frac{m_{H2O}}{\rho_{H2O}}} =$$

$$= \frac{230\ g}{1000\ cm^3 - \frac{918\ g}{1\ g \cdot cm^{-3}}} = 2.805\ g/cm^3$$

d− الكسر الحجمي للماء:

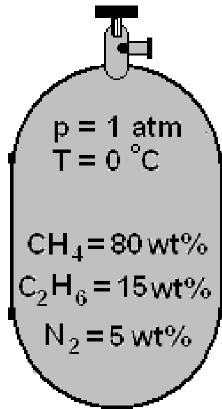
$$\varphi_{H2O} = \frac{V_{H2O}}{V} = \frac{918\ cm^3}{1000\ cm^3} = 0.918$$

مسألة−16 :

احسب التركيب المولي للمزيج الغازي ذي التركيب الوزني:

CH_4 = 80 wt% , C_2H_6 = 15 wt% , N_2 = 5 wt%

ثم أحسب الكتلة المولية المتوسطة، وكثافة المزيج عند الشروط النظامية (1 atm , 0°C)



الحل:

النسبة المئوية الوزنية wt% = الكسر الوزني × 100

نحسب أولاً الكسور الوزنية:

$$\Rightarrow \quad \bar{x}_i = \frac{wt\%}{100} \quad \Rightarrow$$

$$\bar{x}_{CH4} = \frac{80}{100} = 0.8 \;, \quad \bar{x}_{C2H6} = \frac{15}{100} = 0.15 \;, \quad \bar{x}_{CH4} = \frac{5}{100} = 0.05$$

نستخدم علاقة التحويل من كسور وزنية إلى مولية (14) :

$$x_i = \frac{\frac{\bar{x}_i}{M_i}}{\sum \frac{\bar{x}_i}{M_i}}$$

$$\sum \frac{\bar{x}_i}{M_i} = \frac{\bar{x}_{CH4}}{M_{CH4}} + \frac{\bar{x}_{C2H6}}{M_{C2H6}} + \frac{\bar{x}_{N2}}{M_{N2}} = \frac{0.8}{16} + \frac{0.15}{30} + \frac{0.05}{28} = 0.05679$$

$$x_{CH4} = \frac{\frac{\bar{x}_{CH4}}{M_{CH4}}}{0.05679} = \frac{\frac{0.8}{16}}{0.05679} = 0.88$$

$$x_{C2H6} = \frac{\frac{\bar{x}_{C2H6}}{M_{C2H6}}}{0.05679} = \frac{\frac{0.15}{30}}{0.05679} = 0.088$$

$$x_{N2} = 1 - 0.88 - 0.088 = 0.032$$

وعيه يكون التركيب المولي:

$CH_4 = 88\%$, $C_2H_6 = 8.8\%$, $N_2 = 3.2\%$

حساب الكتلة المولية المتوسطة: نستخدم العلاقة 16 :

$$\bar{M} = \sum x_i M_i$$

$$\bar{M} = 0.88 \times 16 + 0.088 \times 30 + 0.032 \times 28 = 17.616 \frac{g}{mol}$$

حساب كثافة المزيج عند الشروط النظامية:

حجمة 1 mol من المزيج عند الشروط النظامية يساوي 22.4 L نعوض في علاقة الكثافة:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{17.616 \text{ g/mol}}{22.4 \text{ L/mol}} = \quad 0.786 \text{ g/L}$$

Material Balance موازنة المادة

<u>خطوات إجراء الموازنة المادية:</u>

1- رسم مخطط صندوقي flow sheet يصف كامل العملية وفقاً للمعلومات المتوفرة.

2- تحديد المركبات والعناصر في العملية وتحديد رموز أو أرقام تدل عليها.

3- كتابة جميع المعلومات المتوفرة على المخطط.

4- اختيار أساس للحسابات.

5- تحديد عدد المركبات أو العناصر التي تتم عليها الموازنة.

6- كتابة جميع التفاعلات الكيميائية التي تحصل في العملية.

7- كتابة جميع العلاقات التي يمكن استخدامها في حل المسألة، ثم إيجاد عدد المعادلات المستقلة.

8- تحديد عدد درجات الحرية.

9- فحص إمكانية حل المسألة.

10- حل جملة المعادلات لحساب قيم المجاهيل.

11- التأكد من صحة الموازنة.

<u>حساب عدد المتحولات الكلي</u> (N_v)

$$N_v = N_s(N_c+1) + N_p \qquad (24)$$

حيث : N_s : عدد التيارات التي تجتاز العملية

N_c : عدد المركبات (المكونات) الداخلة والخارجة من حدود العملية.

N_p : عدد المعادلات الخاصة بالجهاز.

ملاحظات:

- تطبيق هذه العلاقة فقط عندما تتواجد جميع المركبات في جميع التيارات الداخلة والخارجة عبر حدود العملية، وإلاّ يكون عدد المتحولات أقل.
- من الممكن إيجاد عدد المتحولات الكلي N_v بعدها مباشرة من على المخطط.

<u>حساب عدد المعادلات المستقلة التي يجب كتابتها لحل المسألة</u> (Nr) : يمكن كتابة ثلاثة أنواع من العلاقات:

- علاقات الموازنة المادية على المكونات: وتساوي لعدد المكونات + الموازنة العامة.
- علاقات تراكيب التيارات: وتساوي لعدد التيارات مجهولة التركيب.
- علاقات خاصة بالجهاز، في حال توفر أي معلومات عنه.

بعد كتابة جميع العلاقات، نقوم بعد المعادلات المستقلة.

عدد درجات الحرية (N_d) : وتساوي عدد المتحولات الكلي ناقص عدد المعادلات المستقلة:

$$N_d = N_v - N_r \qquad (25)$$

فحص إمكانية حل المسألة:

أولاً: يجب أن يكون عدد المعادلات المستقلة مساوياً لعدد المتحولات مجهولة القيمة (المجاهيل)

ثانياً: يجب أن يكون درجات الحرية مساوياً لعدد المتحولات معلومة القيمة (المعاليم)

مبدأ لافوازييه في مصونية المادة: المادة لا تفنى ولا تُخلق من عدم، وبالتالي فإن:

1 – الموازنة المادية للعمليات الفيزيائية :

كمية المواد الداخلة إلى الجهاز = كمية المواد الخارجة منه + المتراكم

ملاحظة : في الحالة المستقرة والمنتظمة ينعدم المتراكم وتصبح معادلة الموازنة المادية:

كمية المواد الداخلة إلى الجهاز (input) = كمية المواد الخارجة منه (output)

يقصد بالكمية : **كتلة** أو **عدد المولات** لمادة ما أو لكل المواد أو العناصر .

مسألة-17 : عملية مزج

لدينا عملية المزج المبينة في المخطط الصندوقي أدناه، حيث يدخل تيارين 1 و2 كتلتهما مجهولة، ويخرج تيار واحد 3 كتلته معلومة وتساوي 400 kg/h . التيار الأول يحتوي على ثلاث مكونات A و B و C الكسور الوزنية لـــ A و B فيه معلومة وهي 0.3 و 0.4 على التوالي. التيار الثاني يحتوي على مكون واحد هو A مجهول القيمة. والتيار الثالث يحتوي على ثلاث مكونات، الكسر الوزني للمكون B معلومة ويساوي 0.1 والمطلوب:

a- رسم المخطط الصندوقي واسقاط جميع المعلومات عليه.

b- تحديد عدد المتحولات الكلي N_v .

c- تحديد عدد المعادلات المستقلة N_r .

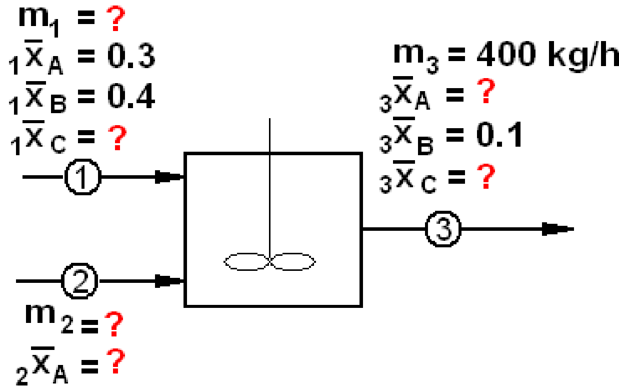
d- إيجاد عدد درجات الحرية N_d .

e- مناقشة إمكانية حل المسألة.

f- حل مسألة الموازنة المادية، ثم التحقق من صحتها.

الحل:

a- رسم المخطط الصندوقي واسقاط المعلومات عليه:



b – عدد المتحولات الكلي N_v : نعدها مباشرة من على المخطط = **10** متحولات.

c – عدد المعادلات المستقلة:

<u>أولاً: معدلات الموازنة المادية</u>: لدينا ثلاث مكونات A و B و C أي يمكن كتابة ثلاث معادلات مستقلة معادلة لكل مكوِّن، وهي على التوالي:

$$m_1 \cdot {}_1\bar{x}_A + m_2 \cdot {}_2\bar{x}_A = m_3 \cdot {}_3\bar{x}_A \qquad (1)$$

$$m_1 \cdot {}_1\bar{x}_B = m_3 \cdot {}_3\bar{x}_B \qquad (2)$$

$$m_1 \cdot {}_1\bar{x}_C = m_3 \cdot {}_3\bar{x}_C \qquad (3)$$

بالإضافة إلى معادلة الموازنة العامة على التيارات الثلاث <u>وهي غير مستقلة</u>:

$$m_1 + m_2 = m_3 \qquad (4)$$

ثانياً: معدلات التراكيب: نستطيع كتابة ثلاثة معادلات لكل تيار معادلة واحدة (مجموع الكسور الوزنية في كل تيار = 1):

$$_1\bar{x}_A + {_1\bar{x}_B} + {_1\bar{x}_C} = 1 \qquad (5)$$

$$_2\bar{x}_A = 1 \qquad (6)$$

$$_3\bar{x}_A + {_3\bar{x}_B} + {_3\bar{x}_C} = 1 \qquad (7)$$

ثالثاً: معدلات الجهاز: لا يوجد.

وبناء عليه يكون عدد المعادلات المستقلة هو $N_r = 6$.

d – عدد درجات الحرية N_d : يحسب من العلاقة 25 :

$N_d = N_v – N_r = 10 – 6 = \mathbf{4}$

e – مناقشة قابلية المسألة للحل:

أولاً: عدد المعادلات المستقلة هو 6 أي يمكن إيجاد قيمة 6 مجاهيل فقط. نقوم بعد المجاهيل من على المخطط مباشرة. عددها 6 وهي:

$m_1, m_2, {_1\bar{x}_C}, {_2\bar{x}_A}, {_3\bar{x}_A}, {_3\bar{x}_C}$

إذن يمكن بحل هذه المعادلات الستة إيجاد قيمة المجاهيل الستة.

ثانياً: عدد درجات الحرية هو 4 أي حتى تكون المسألة قابلة للحل يجب أن تكون قيمة أربعة متحولات معلومة (أي عدد المعاليم=4). نقوم بعد المعاليم مباشرة من على المخطط مباشرة. عددها 4 وهي:

$m_3, {_1\bar{x}_A}, {_1\bar{x}_B}, {_3\bar{x}_A}$. إذن المسألة قابلة للحل.

d– حل مسألة الموازنة المادية:

من المعادلة 6 نجد : $_2\bar{x}_A = 1$

من المعادلة 5 نجد: $_1\bar{x}_C = 1 - {_1\bar{x}_A} + {_1\bar{x}_B} = 1 - 0.3 - 0.4 = 0.3$

من المعادلة 2 : $m_1 = \dfrac{m_3 \cdot {_3\bar{x}_B}}{_1\bar{x}_B} = \dfrac{400\ kg/h \times 0.1}{0.4} = 100 \quad kg/h$

من المعادلة 4 : $m_2 = m_3 - m_1 = 400\ kg/h - 100\ kg/h = 300 \quad kg/h$

من المعادلة 3 :

$$_3\bar{x}_C = \frac{m_1 \cdot {_1\bar{x}_C}}{m_3} = \frac{100\ \text{kg/h} \times 0.3}{400\ \text{kg/h}} = 0.075$$

من المعادلة 7 :

$$_3\bar{x}_A = 1 - {_3\bar{x}_C} - {_3\bar{x}_B} = 1 - 0.075 - 0.1 = 0.825$$

التحقق من صحة الموازنة المادية: نعوض القيم التي حصلنا عليها في المعادلة 1 :

$$m_1 \cdot {_1\bar{x}_A} + m_2 \cdot {_2\bar{x}_A} = m_3 \cdot {_3\bar{x}_A}$$
$$100 \times 0.3 + 300 \times 1 = 400 \times 0.825$$
$$330 = 330$$

إذن الموازنة صحيحة.

مسألة-18 : عملية تبخير

احسب كمية الماء التي يجب تبخيرها من محلول سكري تركيزه الوزني 30 wt% للحصول على 1000 kg/h من محلول سكري تركيزه الوزني 70 wt% .

قم بتحليل المسألة كما في المثال السابق.

الحل: كما هو واضح من نص المسألة، لدينا ثلاثة تيارات:

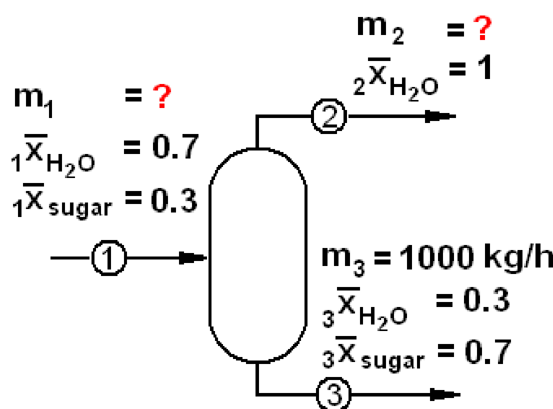
التيار (1) : داخل إلى المبخر، كتلته مجهولة، أما تركيبه فمعلوم، سكر 30 wt% والباقي ماء، أي الكسر الوزني للسكر 0.3 وعليه يكون الكسر الوزني للماء: 1 - 0.3 = 0.7

التيار (2) : تيار بخار الماء الخارج من المبخر، كتلته مجهولة، ومكون فقط من الماء، أي الكسر الوزني للماء فيه يساوي: 1

التيار (3) : تيار المحلول السكري المركز الخارج من المبخر، تدفقه معلوم ويساوي 1000 kg/h ، وتركيبه معلوم أيضاً ، سكر 70 wt% والباقي ماء، أي الكسر الوزني للسكر 0.7 وعليه يكون الكسر الوزني للماء فيه: 1 - 0.7 = 0.3

رسم المخطط الصندوقي

وإدراج جميع المعلومات عليه



عدد المتحولات الكلي N_v : نعدها مباشرة من على المخطط = **8** متحولات.

كتابة معدلات الموازنة المادية: لدينا مكونان فقط هما السكر والماء، أي يمكن كتابة معادلتين مستقلتين:

$$m_1 \cdot {}_1\bar{x}_{H2O} = m_2 \cdot {}_2\bar{x}_{H2O} + m_3 \cdot {}_3\bar{x}_{H2O} \qquad (1)$$

$$m_1 \cdot {}_1\bar{x}_{sugar} = m_3 \cdot {}_3\bar{x}_{sugar} \qquad (2)$$

بالإضافة إلى معادلة الموازنة العامة وهي غير مستقلة:

$$m_1 = m_2 + m_3 \qquad (3)$$

كتابة معدلات التراكيب: جميع التيارات معلومة التركيب، وبالتالي لا يمكن كتابة أية معادلة.

كتابة معدلات الجهاز: لا يوجد.

وبناء عليه يكون عدد المعادلات المستقلة هو $N_r = 2$.

مناقشة قابلية المسألة للحل:

أولاً: عدد المعادلات المستقلة هو 2 أي يمكن إيجاد قيمة مجهولين فقط. نقوم بعد المجاهيل من على المخطط مباشرة. عددها 2 وهي: m_1 ، m_2 $\Leftarrow$ إذن يمكن إيجاد قيمتيهما.

ثانياً: عدد درجات الحرية (N_d): $N_d = N_v - N_r = 8 - 2 = \mathbf{6}$

أي حتى تكون المسألة قابلة للحل يجب أن تكون قيمة 6 متحولات معلومة (أي عدد المعاليم = 6). نقوم بعد المعاليم مباشرة من على المخطط مباشرة. عددها 6

إذن المسألة قابلة للحل.

حل مسألة الموازنة المادية:

من المعادلة 2 نجد :

$$m_1 = m_3 \frac{{}_3\bar{x}_{sugar}}{{}_1\bar{x}_{sugar}} = 1000\ kg/h\ \frac{0.7}{0.3} = 2333.3\ \ kg/h$$

من المعادلة 3 نجد :

$$m_2 = m_1 - m_3 = 2333.3 - 1000 = 1333.3\ \ kg/h$$

التحقق من صحة الموازنة: نعوض في المعادلة 1 :

$$2333.3 \times 0.7 = 1333.3 \times 1 + 1000 \times 0.3$$

$$1633.3 = 1633.3$$

– تابع – موازنة المادة

الموازنة المادية للتفاعل الكيميائي وللعمليات المستقرة

Material balance (chemical reaction & steady state processes)

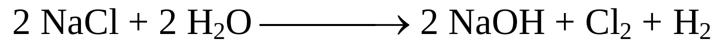
كتلة المادة الداخلة إلى الجهاز + الناتج عن التفاعلات =

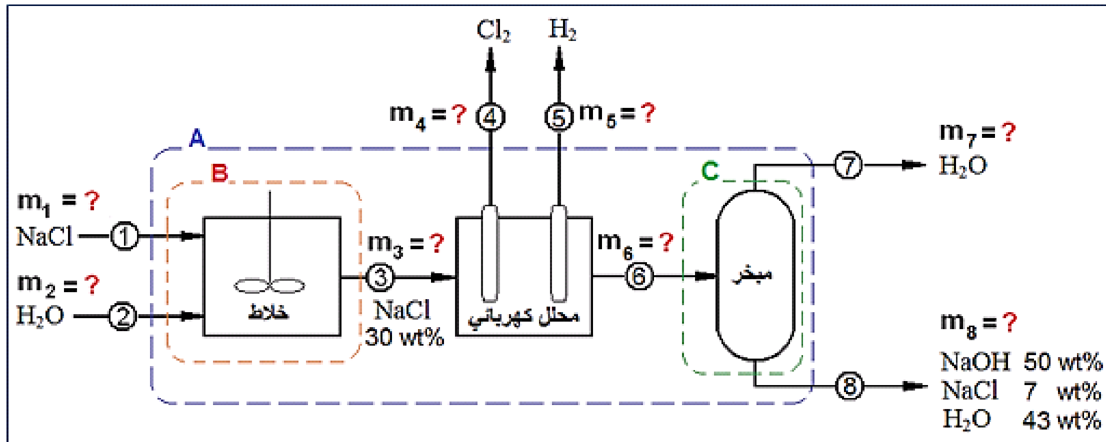
كتلة المادة الخارجة من الجهاز + المستهلك في التفاعلات

Input + generated = Output + consumed

مسألة-19 : انتاج هيدروكسيد الصوديوم بطريقة التحلل الكهربائي

يبين المخطط التالي انتاج NaOH بطريقة التحلل الكهربائي لمحلول ملح الطعام NaCl ، والمطلوب إجراء الموازنة المادية، علماً أن التفاعل الحاصل هو:





شرح العملية : يدخل NaCl و H_2O إلى الخلاط لتشكيل محلول تركيزه NaCl 30 wt% ، ومنه إلى المحلل الكهربائي، وهناك يحصل التفاعل (التحلل الكهربائي) حيث ينتج غاز الكلور وغاز الهيدروجين اللذان يخرجان من أعلى المحلل ، أما NaOH الناتج فيبقى ضمن المحلول. ينتقل محلول NaOH من المحلل الكهربائي إلى المبخر من أجل رفع التركيز إلى NaOH 50 wt% .

الحل:

مناقشة طريقة الحل: لحساب التيارات 1 و 2 و 4 و 5 و 7 و 8 نقوم بإجراء موازنة على كامل العملية، وفق (المنطقة A). ولحساب التيار 3 نقوم بإجراء موازنة على الخلاط (المنطقة B). ولحساب التيار 6 نقوم بإجراء موازنة على المبخر (المنطقة C).

أولاً: إجراء موازنة على كامل العملية، وفق المنطقة A :

عدد المتحولات الكلي: 9 ، وعدد المعاليم: 3 ، وعدد المجاهيل: 6 (نعدها مباشرة من المخطط).

عدد المعادلات المستقلة = عدد المركبات (المكونات) + عدد التراكيب المجهولة +

+ عدد المعادلات الخاصة بأجهزة العملية = 5 + 0 + 0 = 5

نلاحظ أن المسألة غير قابلة للحل لأن عدد المعادلات المستقلة (5) أقل من عدد المجاهيل (6)، كما أن عدد درجات الحرية (4) أكبر من عدد المعاليم (3).

إذا افترضنا قيمة لأحد التيارات يصبح عدد المجاهيل 5 وعدد المعاليم 4 وبذلك يصبح الحل ممكناً.

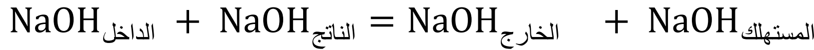
من الممكن اختيار أساس الحساب التيار 4 (الكلور الناتج عن التفاعل) أو التيار 5 (الهيروجين الناتج عن التفاعل) ، وأفضل الخيارات هو التيار 8 (محلول هيدروكسيد الصوديوم المركز الخارج من أسفل المبخر) وذلك لأنه يحتوي على 3 معاليم تفيدنا في الحل.

بناء على ذلك ، لنفترض أن التدفق الكتلي للتيار 8 هو: **$m_8 = 100\ kg/h$**

<u>كتابة معادلات الموازنة المادية:</u>

بداية يجب استخدام معادلة التفاعل لتحديد كمية المواد المستهلكة والناتجة عن التفاعل، لكن ذلك يتطلب معرفة كمية أحد المركبات ثم حساب الباقي بناءً عليه.

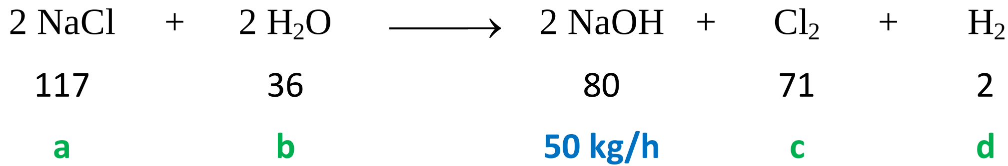
من الموازنة على المركب NaOH نحسب كتلة هيدروكسيد الصوديوم الناتج عن التفاعل:



$$0 + NaOH_{\text{الناتج}} = m_8 \cdot {}_8\bar{x}_{NaOH} + 0$$

$$\Rightarrow NaOH_{\text{الناتج عن التفاعل}} = \mathbf{100\ kg/h} \times 0.5 = \mathbf{50\ kg/h}$$

نُعوض في معادلة التفاعل:



$$NaCl_{\text{المستهلك في التفاعل}} = \mathbf{a} = (117 \times 50\ kg/h) \div 80 = 73.125\ kg/h$$

$$H_2O_{\text{المستهلك في التفاعل}} = \mathbf{b} = (36 \times 50\ kg/h) \div 80 = 22.5\ kg/h$$

$$Cl_{2\ \text{الناتج عن التفاعل}} = \mathbf{c} = (71 \times 50\ kg/h) \div 80 = 44.375\ kg/h$$

$$H_{2\ \text{الناتج عن التفاعل}} = \mathbf{d} = (2 \times 50\ kg/h) \div 80 = 1.25\ kg/h$$

موازنة على H_2: $0 + 1.25 = m_5 + 0 \Rightarrow \mathbf{m_5 = 1.25\ kg/h}$

موازنة على Cl_2: $0 + 44.375 = m_4 + 0 \Rightarrow \mathbf{m_4 = 44.375\ kg/h}$

موازنة على NaCl: $m_1 + 0 = 100\ kg/h \times 0.07 + 73.125\ kg/h$

$$\Rightarrow \mathbf{m_1 = 80.125\ kg/h}$$

موازنة على H_2O: $m_2 + 0 = 100\ kg/h \times 0.43 + 22.5\ kg/h + m_7$

لا يمكن حل هذه المعادلة لأنها تحتوي على مجهولين m_2 و m_7 لذلك نقوم بإجراء موازنة مادية على الخلاط (المنطقة B) :

من موازنة المادة على NaCl نجد:

$$m_1 = m_3 \times 0.3 \Rightarrow \mathbf{m_3} = 80.125\ kg/h \div 0.3 = \mathbf{267.08\ kg/h}$$

من الموازنة العامة على الخلاط نجد:

$$m_1 + m_2 = m_3 \Rightarrow m_2 = m_3 - m_1 = 267.08\ kg/h - 80.125\ kg/h$$

$$\mathbf{m_2} = \mathbf{186.95\ kg/h}$$

نعود إلى الموازنة على H_2O من أجل حساب m_7 :

$$\mathbf{m_7} = m_2 - (100\ kg/h \times 0.43 + 22.5\ kg/h) = \mathbf{121.45\ kg/h}$$

لحساب m_6 نقوم بإجراء موازنة مادة عامة على المبخر (المنطقة C) :

$$\mathbf{m_6} = m_7 + m_8 = 121.45 + 100 = \mathbf{221.45\ kg/h}$$

ولتتحقق من صحة الموازنة نقوم بإجراء موازنة عامة على العملية ككل (الداخل = الخارج)

$$m_1 + m_2 = m_4 + m_5 + m_7 + m_8$$

$$80.125 + 186.95 = 44.375 + 1.25 + 121.45 + 100$$

$$267.08 = 267.075$$

أي أن الموازنة صحيحة

موازنة الطاقة Energy Balance

مقدمة

يتطلب تصميم أية عملية صناعية كيميائية إجراء حسابات دقيقة لكميات الطاقة الداخلة إلى والخارجة من كل وحدة أو جهاز ضمن المنشأة الصناعية. وعادة ما يكون ذلك على درجة عالية من الأهمية، بسبب تأثر اقتصاد عمليات التصنيع بشكل كبير بمقدار استهلاكها للطاقة. ومن ناحية أخرى تلعب هذه الحسابات دوراً رئيسياً في تحديد البارامترات الأساسية اللازمة لتصميم معظم الأجهزة في المنشأة مثل المبادلات الحرارية والغلايات والمبخرات ووشائع التبريد أو التسخين والقمصان الحرارية والأفران...

يجري تحديد الاستهلاك الكلي للطاقة اللازمة للعملية عن طريق إجراء موازنة الطاقة لكل جهاز في العملية بشكل مماثل لطريقة إجراء الموازنات المادية. وتعتمد معادلة موازنة الطاقة على مبدأ حفظ الطاقة أو المبدأ الأول في الترموديناميك، وعن طريقها يمكن حساب استهلاك الطاقة الميكانيكية (مثال ذلك الطاقة اللازمة لضخ بعض المواد من مكان إلى آخر)، أو الطاقة الحرارية (مثال ذلك الحرارة اللازمة لتسخين المواد أو تبريدها، أو تحويلها من طور إلى آخر. أو فصلها في العمليات الحرارية مثل التقطير والتبخير والجفيف أو حساب كمية المحروقات اللازمة لإنتاج كمية معينة من الحرارة، أو حساب كمية الحرارة الناتجة أو اللازمة لإنجاز التفاعلات الكيميائية، وغيرها من الأمور التي يمكن أن تصادف في أية عملية كيميائية).

عادةً ما يتم العمل في الصناعة بالقرب من حالة الاستقرار Steady State، وعندها تكون ظروف العمل عند أية نقطة من الجهاز أو النظام ثابتة مع الزمن، أي لا يحصل أي تراكم في المادة أو الطاقة، وتكون عندئذ معدلات التدفق لجميع المواد ولكل أنواع الطاقة ثابتة ومتماثلة عند أية نقطة من الجهاز.

بتحديد الفرق بين الخارج من الجهاز والداخل اليه بالرمز Δ يمكن كتابة معادلة الطاقة بشكل عام كما يلي:

$$\Delta E + \frac{g}{g_C}\Delta Z + \frac{\Delta u^2}{2g_C} + \Delta(PV) = Q - W \qquad (26)$$

وتعد هذه المعادلة العلاقة العامة لموازنة الطاقة للعمليات المتدفقة في حالة الاستقرار بالنسبة لواحدة الكتلة وحيث :

ΔE : الطاقة الداخلية.

$\frac{g}{g_C}\Delta Z$: طاقة الكمون الوضعي.

$\frac{\Delta u^2}{2\ g_C}$: الطاقة الحركية.

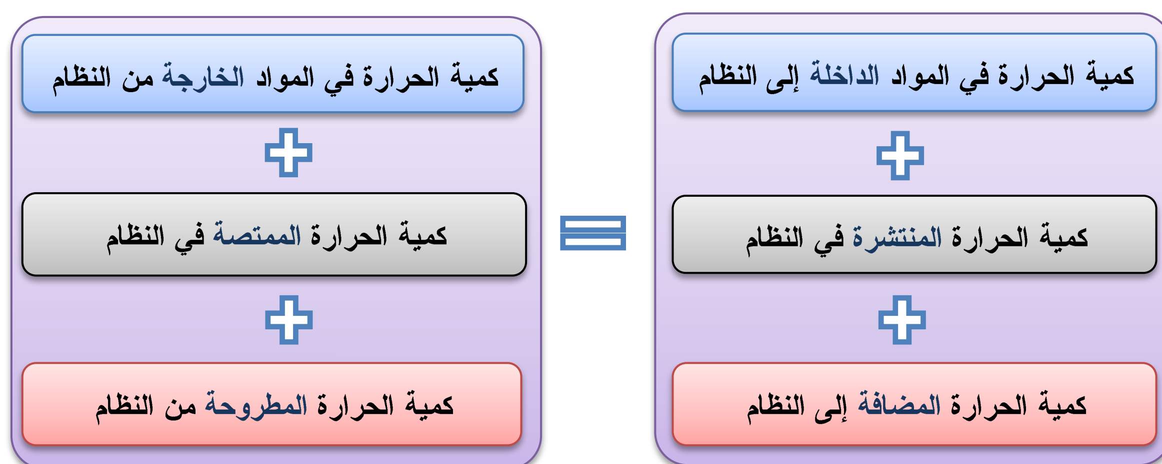
$\Delta(PV)$: طاقة الجريان.

Q : الطاقة الحرارية المقدمة للنظام.

W : العمل الذي يقدمه النظام إلى المحيط.

الموازنات الحرارية

تعتبر الموازنات الحرارية حالة خاصة من موازنات الطاقة حيث تهمل الطاقات الأخرى بالنسبة للطاقة الحرارية . وتصبح موازنة الطاقة للإجراءات المستمرة والمنتظمة على الشكل التالي :



أهم التعابير والعلاقات المستخدمة في الحسابات الحرارية :

علاقة السعة الحرارية بدرجة الحرارة :

$$C_P = A + B\,T + C\,T^2 \qquad (27)$$

$$C_P = A + B\,T + C\,/T \qquad (28)$$

$$C_P = A + B\,T^C \qquad (29)$$

حيث: C_P السعة الحرارية أوالسعة الحرارية المولية وتقدر بـ kJ/kg deg° أو kJ/kmol deg°

T درجة الحرارة وتقدر عادة بــالمئوية أو بالكلفن .

C , B , A قيم ثابتة خاصة بكل مكون وتؤخذ من جداول خاصة .

السعة الحرارية المتوسطة :

$$C_{P_m} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} Cp.dT}{T_2 - T_1} \qquad (30)$$

حيث: C_{P_m} السعة الحرارية المولية المتوسطة بين درجتي حرارة T_1 و T_2 .

الإنتالبية الكامنة للتبخير ΔH_v

هي كمية الحرارة اللازمة لتبخير واحدة الكمية من المادة السائلة عند ضغط ودرجة حرارة ثابتتين وعكسها **حرارة التكاثف** . ويمكن إيجاد الحرارة الكامنة لتبخير في جداول خصائص المادة، حيث تعطى هذه القيم عند الضغط الجوي ودرجة غليان المادة .

الإنتالبية الكامنة للانصهار ΔH_m

هي كمية الحرارة اللازمة لصهر واحدة الكمية من المادة الصلبة وعكسها حرارة التجمد .ويمكن الحصول عليها من الجداول عند الضغط الجوي ودرجة حرارة الانصهار .

إنتالبية التفاعل القياسية ΔH^o_R وتحسب من العلاقة :

$$\Delta H^o_R = \sum H^o_{Prod} - H^o_{react} \qquad (31)$$

الرمز Prod للمنتجات و react للمتفاعلات .

ويمكن حساب حرارة التفاعل القياسية إذا كانت حرارة تشكيل جميع المركبات الداخلة والناتجة عن التفاعل معلومة باستخدام العلاقة :

$$\Delta H^o_R = \sum \Delta H^o_{F\ Prod} - \sum \Delta H^o_{F\ react} \qquad (32)$$

حيث أن ΔH^o_F هي انتالبية التشكيل القياسية للمركبات ويمكن الحصول عليها من الجداول .

أيضاً يمكن معرفة حرارة التفاعل بمعرفة حرارة احتراق جميع المكونات الداخلة والناتجة عن التفاعل والتي يمكن إيجادها في الجداول بحيث يكون :

$$\Delta H^o_R = \sum \Delta H^o_{C\ react} - \sum \Delta H^o_{C\ Prod} \qquad (33)$$

حيث أن ΔH^o_C هي انتالبية الاحتراق القياسية للمركبات ويمكن الحصول عليها من الجداول .

انتالبية التفاعل : $\Delta H_{R,T}$

عند أي درجة من الحرارة غير درجة الحرارة القياسية تحسب من العلاقة :

$$\Delta H_{R,T} = \Delta H^o_R + \int_{T_r}^{T} C_P \, dT \qquad (34)$$

حيث T_r هي درجة الحرارة القياسية وعادة ما تكون درجة الحرارة (25^oC) .

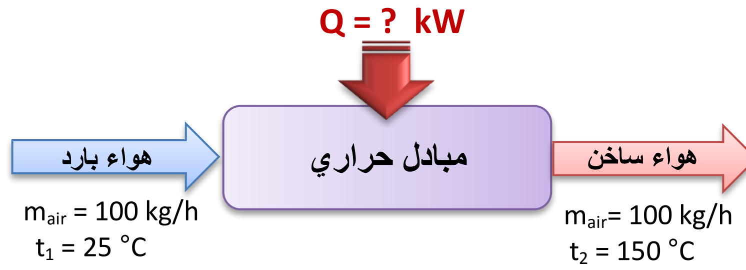
مسألة-20 : تسخين الهواء

يدخل الهواء في مبادل حراري لرفع درجة حرارته من 25^oC إلى 150^oC، وذلك بمعدل $100\ kg\ /h$ ليستخدم لاحقاً في عملية احتراق. يحصل خلال ذلك تغير في الانتالبية النوعية للهواء نتيجة التسخين بمقدار (870 cal / mol) .

والمطلوب: حساب كمية الحرارة اللازمة للتسخين مقدرة بـ kW ، علماً أن:

- الكتلة المولية للهواء $M_{air} = 29\ kg\ /\ k\ mol$
- معامل التحويل من cal/s إلى kW هو $1\ cal\ /s = 4.1868 \times 10^{-3}\ kW$

الحل : تُمثل العملية بالشكل التالي:



كمية الحرارة اللازمة للتسخين تساوي التغير في قيمة الانتالبي للهواء بين درجتي الحرارة 25^oC و 150^oC ، أي من أجل k mol من الهواء يكون لدينا:

$$Q = \Delta H = 870\ cal/mol = 870 \times 10^3\ cal/k\ mol$$

نحسب عدد مولات الهواء المطلوب تسخينها :

$$n_{air} = \frac{m_{air}}{M_{air}} = \frac{100\ kg/h}{29\ \ kg/k\ mol} = 3.454\ \ k\ mol/h$$

وعليه كون كمية الحرارة اللازمة للتسخين (خلال ساعة) :

$$\Delta H = 870 \times 10^3 \frac{cal}{k\ mol} \times 3.454 \frac{k\ mol}{h} = 3001.5 \times 10^3 \frac{cal}{h}$$

كمية الحرارة اللازمة للتسخين (خلال ثانية واحدة) :

$$\Delta H = \frac{3001.5 \times 10^3\ \ cal}{h}\left|\frac{1\ \ \ h}{3600\ \ s}\right| = \frac{3001.5 \times 10^3\ \ cal}{3600\ \ \ \ s}\Bigg| = 834\ cal/s$$

وبالتالي تكون كمية الحرارة اللازمة للتسخين تساوي :

$$Q = \frac{834\ \ cal/s}{}\left|\frac{4.1868 \times 10^{-3}\ kW}{1\ \ \ \ \ cal/s}\right| = 3.5\ \ kW$$

مسألة-21 : تبخير الماء

يتم مزج تيارين من الماء تدفق الأول 150 kg/min ودرجة حرارته 30 °C وتدفق الثاني 200 kg/min ودرجة حرارته 80 °C ، ثم يدخلان إلى مرجل لتشكيل البخار بحيث يتم الحصول على بخار مشبع عند الضغط الجوي. يخرج البخار المتشكل من المرجل عبر أنبوب قطره الداخلي 10 cm . والمطلوب حساب كمية الحرارة اللازم إضافتها إلى المرجل. علماً أن:

- الطاقة الحركية للتيارات الداخلة إلى المرجل مهملة (تعتبر قيمتها تساوي صفر).
- انتالبيات الماء عند درجات الحرارة 30 °C و 80 °C هي:

$t_1 = 30\ ^oC \longrightarrow H_1 = 125.7\ kJ/kg$

$t_2 = 80\ ^oC \longrightarrow H_2 = 334.9\ kJ/kg$

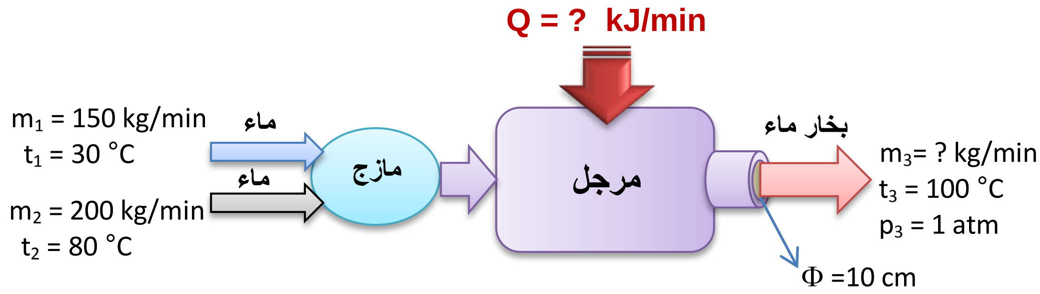
- انتالبية البخار المشبع عند الضغط 1 atm ودرجة الحرارة 100 °C هي:

$t_3 = 100\ ^oC\ \ \&\ \ p_3 = 1\ atm \longrightarrow H_3 = 2676\ kJ/kg$

- الكتلة الحجمية للبخار عند الضغط 1 atm والدرجة 100 °C هي:

$V_3 = 1,673\ m^3/kg$

الحل : تُمثل العملية بالشكل التالي:



الموازنة المادية:

كتلة البخار الخارج = مجموع كتلتي تيار الماء الأول والثاني الداخلين، أي:

$m_3 = m_1 + m_2 = 150 + 200 = 350\ kg/min$

الموازنة الحرارية:

بالرجوع إلى العلاقة العامة لموازنة الطاقة رقم (26) نجد:

$$\Delta H + \Delta EK + \Delta EP = Q + W$$

$$\Delta Z = 0 \longrightarrow \Delta EP = 0 \quad , \quad W = 0 \longrightarrow \Delta H + \Delta EK = Q$$

$$\Delta H = \sum_{out} n_i \cdot H_i - \sum_{in} n_i \cdot H_i$$

$$\Delta H = 350 \times 2676 - (150 \times 125.7 + 200 \times 334.9) = 850765\ kJ/min$$

$$\Delta EK = \frac{m_3 . u_3^2}{2} - \left(\frac{m_1 . u_1^2}{2} + \frac{m_2 . u_2^2}{2} \right) = \frac{m_3 . u_3^2}{2}$$

$$u_3 = \frac{V_3}{A}$$

V_3 = m$_3$. V_3 = 350 × 1.673 = 585.55 m^3

$A = \pi . R^2 = 3.14 \times (0.005)^2 = 7.85 \times 10^{-3}\ m^2$

$$u_3 = \frac{V_3}{A} = \frac{585.55}{7.85 \times 10^{-3}} = 74592.357\ m/\min = 1243.2\ m/s$$

$$\Delta EK = \frac{m_3 . u_3^2}{2} = \frac{350\ kg/\min \times (1243.2)^2\ m^2}{2 \quad s^2} \left| \frac{1\ N}{1\ kg.m/s} \right| \frac{1\ kJ}{10^3\ N.m}$$

$$= 540941\ kJ/\min$$

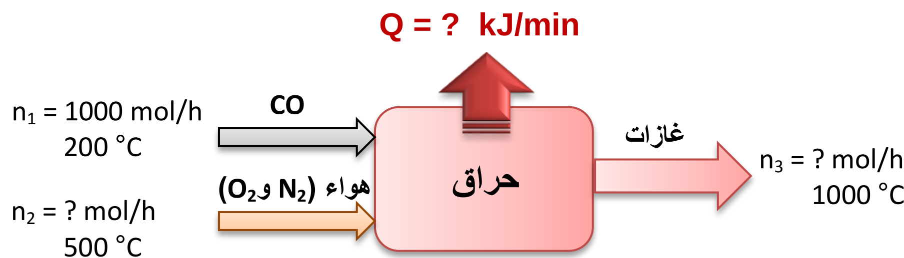
$Q = \Delta H + \Delta EK = 850765 + 540941 = 1391706\ kJ/min$

مسألة-22 : حرق غاز أول أكسيد الكربون CO

يُحرق CO بفائض من الهواء قدره 90 % ، والمطلوب حساب كمية الحرارة المستغلة نتيجة عملية الحرق، إذا كانت كمية CO المستخدمة 1 kmol / h ودرجة حرارة CO الداخل 200 ^oC ودرجة حرارة الهواء المستخدم للاحتراق 500 ^oC ، أما درجة حرارة الغازات الناتجة فهي 1000 ^oC وأنه عند حرق 1 mol من CO تنتشر حرارة قدرها 283 kJ . تركيب الهواء المولي (21% O_2 , 79% N_2) والسعات الحرارية المتوسطة للغازات مُبينة في الجدول التالي :

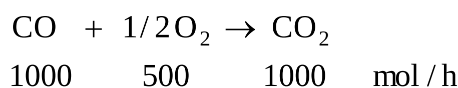
الهواء	CO	CO_2	O_2	N_2	المكون
30.25	29.47	44.93	31.65	29.98	C_P J/mol ^oC

الحل : تُمثل العملية بالشكل التالي :



الموازنة المادية:

من معادلة التفاعل، نجد أن كل مول CO يتفاعل مع نصف مول O_2 معطياً مول واحد من CO_2 ومن أجل k mol (1000 mol) :



$$CO + 1/2 O_2 \rightarrow CO_2$$

1000 500 1000 mol / h

حساب قيمة التيارات الداخلة والناتجة :

$$n_1 = 1\ kmol/h = 1000\ \ mol/h$$

$$_3n_{O_2} = 500 \times 0.9 = 450\ \ mol/h$$

$$_2n_{N_2} = {}_3n_{N_2} = \frac{500+450}{0.21} \times 0.79 = 3574\ \ mol/h$$

$$n_2 = 450 + 500 + 3574 = 4524\ \ mol/h$$

$$n_3 = 450 + 3574 + 1000 = 5024\ \ mol/h$$

الموازنة الحرارية : يمكن كتابة معادلة الموازنة الحرارية على النحو:

انتالبية CO + انتالبية الهواء + الحرارة المنتشرة من تفاعل الحرق	=	الحرارة المستغلة + انتالبية الغازات الناتجة

نقوم بحساب جميع الحدود وتبقى كمية الحرارة المستغلة التي تحسب من علاقة الموازنة الحرارية السابقة.

يعتبر أساس حساب الانتالبيات درجة الحرارة **25°C** :

$$\Delta H_I = n_I\ .\ Cp_I\ .\Delta T$$

$$\Delta H_{CO} = 1000 \times 29.47\ (200-25) = 5157250\ \ J/h = 5157.25\ kJ/h$$

$$\Delta H_{air} = 4524 \times 30.25\ (500-25) = 65004225\ \ J/h = 65004.225\ kJ/h$$

$$\Delta H_R = 283 \times 1000 = 283000\ kJ/h$$

$$\Delta H_{gas} = [1000 \times 44.93 + 31.65 \times 450 + 3574 \times 29.98] \times [1000-25]$$

$$\Delta H_{gas} = 162163 \qquad kJ/h$$

وتكون كمية الحرارة المستغلة Q :

$$Q = 5157.25 + 65004.225 + 283000 - 162163 \cong 190998\ \ kJ/h$$

مسألة-23 : تصنيع الأسيت الألدهيد CH_3CHO

يتم الحصول على الأسيت ألدهيد بتفكيك الايتانول حسب التفاعل التالي:



$$C_2H_5OH \rightarrow CH_3CHO + H_2$$

وفقاً للشروط الآتية:

- التركيب المولي لتيار التغذية الداخل إلى المفاعل(90 % إيتانول + 10 % أسيت ألدهيد) ودرجة حرارة 300 °C .
- تضاف إلى المفاعل كمية من الحرارة بمعدل 5300 kJ لكل 100 mol من تيار التغذية.
- كمية الحرارة الممتصة عند تفكك مولاً واحداً من الايتانول وعند الدرجة 25° C تبلغ 68,95 kJ

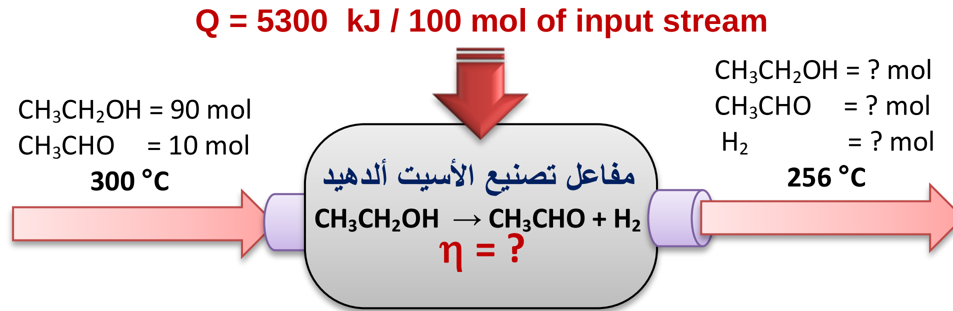
والمطلوب : حساب نسبة تحول الايتانول η عندما تخرج الغازات من المفاعل عند درجة الحرارة 265^o C . علماً أن السعات الحرارية للمواد هي:

$$C_{P_{H_2}} = 28.9 + 0.4 \times 10^{-5}\ t \quad J/mol.C^o$$

$$C_{P_{CH_3CH_2OH}} = 110 \quad J/mol\,C^o$$

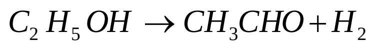
$$C_{P_{CH_3CHO}} = 80 \quad J/mol.C^o$$

الحل :



الموازنة المادية: نفترض أن كمية تيار التغذية 100 mol ، فتكون كمية الكحول الداخل 90 mol وكمية الأسيت ألدهيد 10 mol .

وبفرض أن نسبة تحول الإيتانول إلى أسيت ألدهيد هي η ، يكون :



$$C_2H_5OH \rightarrow CH_3CHO + H_2$$

$$\begin{array}{ccc} 1 & 1 & 1\ mol \\ 90\eta & 90\eta & 90\eta\ mol \end{array}$$

عدد مولات الإيتانول المتفكك = عدد مولات الإيتانول الداخلة × نسبة التحول = 90 η

عدد مولات الأسيت ألدهيد الناتج عن تفكك الإيتانول = عدد مولات الإيتانول المتفكك = 90 η

عدد مولات الهيدروجين الناتج عن تفكك الإيتانول = عدد مولات الإيتانول المتفكك = 90 η

الإيتانول الخارج = الإيتانول الداخل – الإيتانول المتفكك: 90 – 90 η = 90 (1- η)

الأسيت ألدهيد الخارج = الداخل + الناتج عن تفكك الإيتانول: 90 η + 10

الهيدروجين الخارج = الناتج عن تفكك الإيتانول = 90 η

بناء عليه يكون جدول الموازنة المادية:

الخارج		الداخل	
90 (1 – η) mol	إيتانول	90 mol	إيتانول
(90 η + 10) mol	أسيت ألدهيد	10 mol	أسيت ألدهيد
90 η mol	هيدروجين	–	–

الموازنة الحرارية :

انتالبي الناتج + حرارة تفكك الايتانول	=	انتالبي الداخل + كمية الحرارة المضافة

إنتالبي المواد الداخلة إلى المفاعل:

$$\Delta H_{in} = 90 \times 110 \times (300-25) + 10 \times 80 \times (300 - 25)$$
$$\Delta H_{in} = 2942500 \quad J$$

إنتالبي المواد الخارجة من المفاعل:

$$\Delta H_{out} = (90\eta + 10) \times 80\,(265 - 25) + 90 \times (1-\eta) \times 110 \times (265 - 25)$$
$$+ 90\,\eta \int_{25}^{265} (28.9 + 0.4 \times 10^{-5}\, t)\, dt =$$
$$= 1728000\,\eta + 192000 + 2376000 - 2376000\,\eta + 90\,\eta \left[28.9\,t + \frac{0.4 \times 10^{-5}\, t^2}{2} \right]_{25}^{265}$$
$$= 2568000 - 648000\,\eta + 90\,\eta \left[28.9\,(265 - 25) + \frac{0.4 \times 10^{-5}\,(265^2 - 25^2)}{2} \right]$$
$$\Delta H_{out} = 2568000 - 23747.5\,\eta$$

بالتعويض في الموازنة الحرارية :

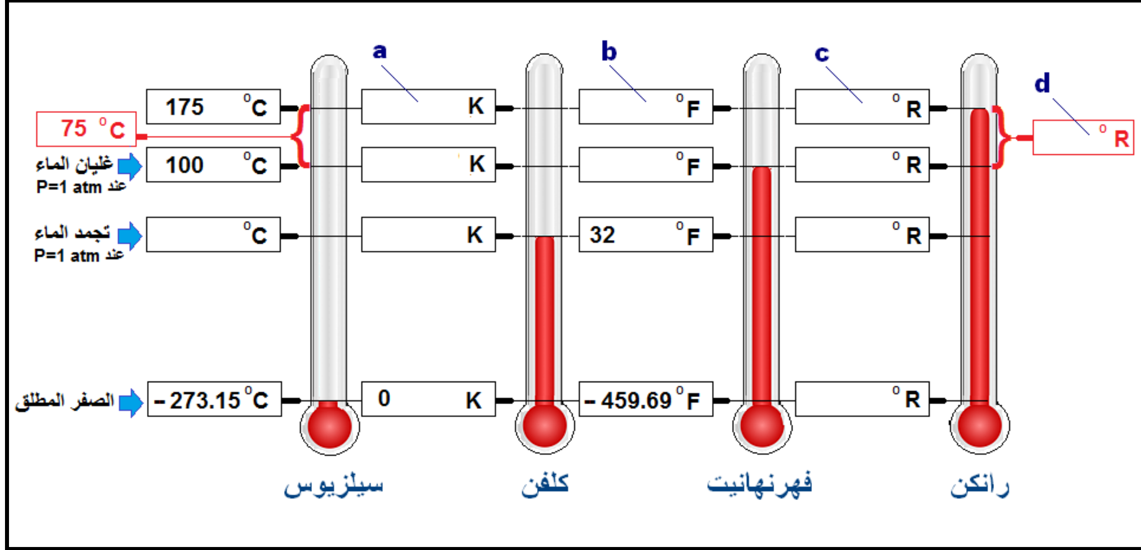
$$2942500 + 5300 \times 10^3 = 2568000 - 23747.5\,\eta + 90\,\eta \times 68.95 \times 10^3$$
$$5674500 = 6181752.5\,\eta$$
$$\Rightarrow \eta = 0.9179$$

أي $\eta \cong 91.8\ \%$

مسائل محلولة

المسألة الأولى:

انقل الرسم التالي إلى ورقة التقرير ثم املأ المستطيلات الفارغة بدرجات الحرارة المناسبة، أكتب باختصار الحسابات التي قمت بها (فقط لـ: **a, b, c, d**) أسفل الرسم.



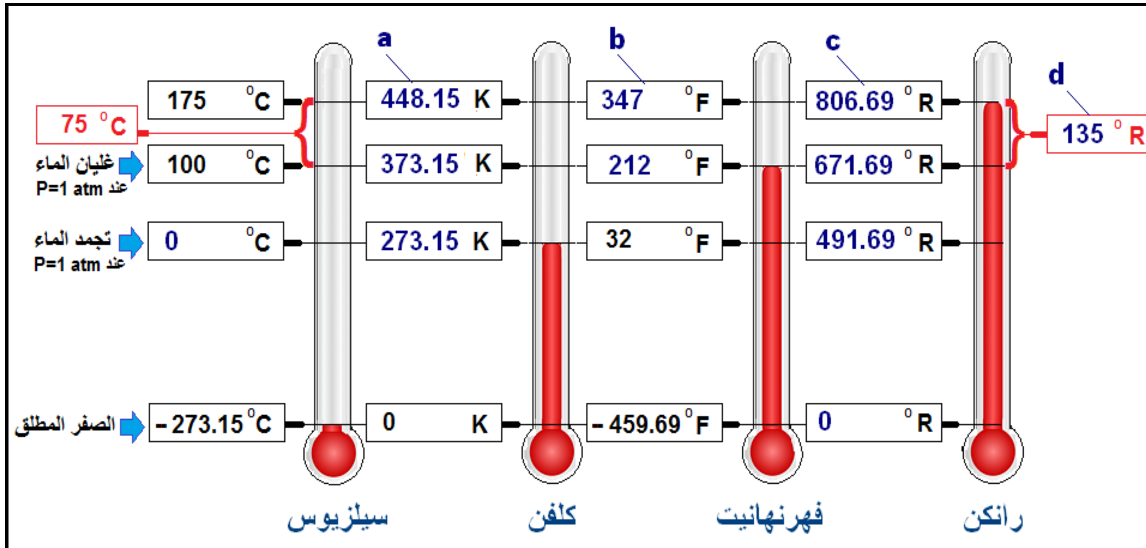
الحل :

a- $T(K) = T(°C) + 273.15 = 175 + 273.15 = \mathbf{448.15}$ K

b- $T(°F) = T(°C) \times 1.8 + 32 = 175 \times 1.8 + 32 = \mathbf{347}$ °F

c- $T(°R) = T(K) \times 1.8 = 448.15 \times 1.8 = \mathbf{806.67}$ °R

d- $\Delta T(°R) = \Delta T(°C) \times 1.8 = 75 \times 1.8 = \mathbf{135}$ °R



المسألة الثانية:

أحسب التدفق الحجمي لـ 100 kg/h من بخار الماء، وذلك عند الضغط 0.5 atm ودرجة الحرارة 90 °C ، علماً أن قيمة الثابت العام للغازات R=0.08206 L·atm/mol·K

الحل :

يمكننا استخدام القانون العام للغازات وذلك لأن R معلومة القيمة :

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \Rightarrow \quad V = (n \cdot R \cdot T) \div P$$

نحسب أولاً قيمة التدفق المولي n :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{100\,\frac{kg}{h} \times 1000\,\frac{g}{kg}}{18\,\frac{g}{mol}} = 5555.55\,\frac{mol}{h}$$

ثم نحسب التدفق الحجمي، لكن يجب الانتباه إلى تجانس الواحدات:

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{5555.55\,\frac{mol}{h} \times 0.08206\,\frac{L \cdot atm}{mol \cdot K} \times (90 + 273)K}{0.5\ atm} =$$

$$V = 330975\,\frac{L}{h} \times \frac{1\ m^3}{1000\ L} \cong \mathbf{331}\ \frac{\mathbf{m^3}}{\mathbf{h}}$$

المسألة الثالثة:

أحسب كتلة كمية من الأمونيا NH_3 حجمها $100\ m^3$ وذلك عند الضغط 2 atm ودرجة الحرارة 373 K .

الحل :

تُحسب الكتلة باستخدام العلاقة: $m = n \cdot M$

أولاً نحسب n عدد مولات الأمونيا باستخدام القانون العام للغازات، لكن قيمة R غير معلومة ولذلك نقوم بعمل تناسب ما بين حالة الغاز في نص المسألة وحالة الغاز عند **الشروط القياسية**:

$$\frac{P \cdot V}{P_s \cdot V_s} = \frac{n \cdot R \cdot T}{n_s \cdot R \cdot T_s} \quad \Rightarrow \quad \frac{P \cdot V}{P_s \cdot V_s} = \frac{n \cdot T}{n_s \cdot T_s} \quad \Rightarrow \quad n = \frac{P \cdot V \cdot n_s \cdot T_s}{P_s \cdot V_s \cdot T}$$

$$n = \frac{2\ atm \times 100\ m^3 \times 1000\ L \cdot m^{-3} \times 1\ mol \times 273\ K}{1\ atm \times 22.4\ L \times 373\ K} = 6534.85\ mol$$

$$\Rightarrow \quad m = n \cdot M = 6534.85\ mol\ \times 17\ \ g \cdot mol^{-1} = 111092\ g \cong \mathbf{111\ kg}$$

المسألة الرابعة:

المطلوب تحويل الكمية $0.3844\ kg{\cdot}cm/s^2$ إلى ما يقابلها بواحدة $lb{\cdot}ft/min^2$

الحل :

$$\mathbf{0.3844}\ \ kg{\cdot}cm/s^2 \ \rightarrow\ \mathbf{?}\ lb{\cdot}ft/min^2$$

نستخرج عوامل التحويل اللازمة من الجدول−1 (الصفحة رقم 4):

1 lb_m = 0.454 kg
1 ft = 30.48 cm
1 min = 60 s

$$\frac{0.3844 \quad kg\cdot cm}{s^2}\left|\frac{1 \quad lb}{0.454 \quad kg}\right|\frac{1 \quad ft}{30.48 \quad cm}\left|\frac{60^2 \quad s^2}{1^2 \quad min^2}\right| = 100 \ \frac{lb\cdot ft}{min^2}$$

المسألة الخامسة:

أحسب الكتلة المولية المتوسطة $\bar{M}$ لمزيج غازي معلوم تركيبه المولي:

i =	CH_4	CO_2	N_2
x_i =	0.70	0.05	0.25

الحل :

$$\bar{M} = \sum n_i \cdot M_i = 0.70 \times 16 + 0.05 \times 44 + 0.25 \times 28 = \mathbf{20.4 \quad g/mol}$$

المسألة السادسة:

أحسب كثافة الهواء (بواحدة g/cm^3) عند الشروط القياسية، علماً أن التركيب الحجمي (أو المولي) لـه هو:

i =	O_2	N_2
x_i =	0.21	0.79

وأن حجم 1 mol منه عند الشروط القياسية هو : 22.4 L

الحل :

ρ = m / V

نحسب كتلة مول واحد من الهواء ونقسم على حجمه :

$$\bar{M} = \sum n_i \cdot M_i = 0.21 \times 32 + 0.79 \times 28 = 28.84 \quad g/mol$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{28.84 \frac{g}{mol}}{22.4 \frac{L}{mol}} = \mathbf{1.2875 \frac{g}{L}}$$

المسألة السابعة:

أحسب كتلة حبيبات NaOH النقية اللازمة لتحضير 1 L من محلول 2N-NaOH ، ثم أحسب مولارية ومولالية هذا المحلول، علماً أن كثافة 1.085 g/ml

الحل :

النظامية هي عدد المكافئات الغرامية من NaOH في الليتر الواحد من المحلول

المكافئ الغرامي لـ NaOH يساوي لكتلة 1 mol منه، أي: 40 g NaOH

أي لتحضير 1 L من محلول 2N-NaOH يلزم 2 مكافئ غرامي. وعليه تكون كتلة NaOH النقية اللازمة لتحضير هذا المحلول:

$40 \times 2 =$ **80 g NaOH**

<u>المولارية</u> هي عدد مولات NaOH الموجودة في 1 L من المحلول

جرى تحضير 1 L من هذا المحلول باستخدام 80 g NaOH ، أي عدد مولات NaOH هو:

$80 \text{ g} \div 40 \text{ g/mol} = 2 \text{ mol}$

⇐ مولارية هذا المحلول : $\text{Molarity} = n_{NaOH} / m_{sol}(\text{L}) = 2 \text{ mol} \div 1 \text{ L} =$ **2 mol/L**

لاحظ أن المولارية = النظامية عندما يكون المكافئ الغرامي مساوياً لـ 1 mol من المركب

<u>المولالية</u> هي عدد مولات NaOH المذابة في 1 kg من المذيب (أي الماء المقطر في حالتنا هذه).

علينا حساب كتلة الماء الموجودة في 1 L من هذا المحلول:

كتلة الماء = كتلة المحلول – كتلة NaOH

نحسب أولاً كتلة المحلول : $m = \rho \cdot V = 1.085 \text{ g/ml} \times 1000 \text{ ml/L} \times 1 \text{ L} = 1085 \text{ g}$

ثم كتلة الماء: $m_{H2O} = m_{sol} - m_{NaOH} = 1085 - 80 = 1005 \text{ g} = 1.005 \text{ kg}$

⇐ المولالية: $\text{Molality} = n_{NaOH} / m_{H2O}(\text{kg}) = 2 \text{ mol} \div 1.005 \text{ kg} =$ **1.99 mol/kg**

المسألة الثامنة:

أحسب كتلة مسحوق Na_2CO_3 النقي اللازم لتحضير 1 L من محلول $0.1N\text{-}Na_2CO_3$ ، ثم أحسب مولارية هذا المحلول، ثم أحسب حجم محلول 0.1N-HCL اللازم لتعديل 10 ml منه

الحل :

المكافئ الغرامي لـ Na_2CO_3 يساوي لكتلة 0.5 mol منه، أي: $106 \div 2 = 53 \text{ g } Na_2CO_3$

⇐ يلزم لتحضير من محلول $0.1N\text{-}Na_2CO_3$: $53 \times 0.1 =$ **5.3 g Na_2CO_3**

مولارية هذا المحلول: نحسب عدد مولات Na_2CO_3 في ليتر من المحلول

$n = m / M = 5.3 \div 106 = 0.05 \text{ mol}$

⇐ المولارية تساوي : $\text{Molarity} = 0.05 \text{ mol} \div 1 \text{ L} =$ **0.05 mol/L**

لحساب حجم محلول 0.1N-HCL اللازم لتعديل 10 ml من $0.1N\text{-}Na_2CO_3$ نطبق قانون المعايرة:

$n_{HCl} \cdot v_{HCl} = n_{Na2CO3} \cdot v_{Na2CO3}$

حجم المحلول اللازم $v_{HCl} = (n_{Na2CO3} \cdot v_{Na2CO3}) \div n_{HCl} = (0.1 \times 10) \div 0.1 =$ **10 ml**

المسألة التاسعة:

أحسب حجم محلول HCl ذي التركيز 36.5 wt% والكثافة 1.19 g/ml اللازم لتحضير 1 L من 0.5N-HCl

الحل :

المكافئ الغرامي لـ HCl يساوي لكتلة 1 mol منه، أي: 36.5 g HCl

ولتحضير 1 L من 0.5N-HCl يلزمنا نصف مكافئ غرامي، أي: $36.5 \div 2 =$ **18.25 g HCl**

لكن المحلول المطلوب التحضير منه تركيزه الوزني 36.5 wt% ، أي:

كل 100 g منه تحتوي على 36.5 g من HCl

كل **m g** منه تحتوي على **18.25 g** من HCl

⇐ كتلة المحلول اللازمة للتحضير هي: $m = (100 \times 18.25) \div 36.5 = 50\ g$

ولحساب حجمه (وهو المطلوب) نقسم على الكثافة: $V = m \div \rho = 50 \div 1.19 =$ **42.02 ml**

مسائل غير محلولة

1 - حول الكمية 196850.4 ft/min إلى ما يقابلها بواحدة m/s علماً ان عوامل التحويل هي: (1 ft = 0.3048 m) و (1 min = 60 s) . (الجواب: 10000 m/s).

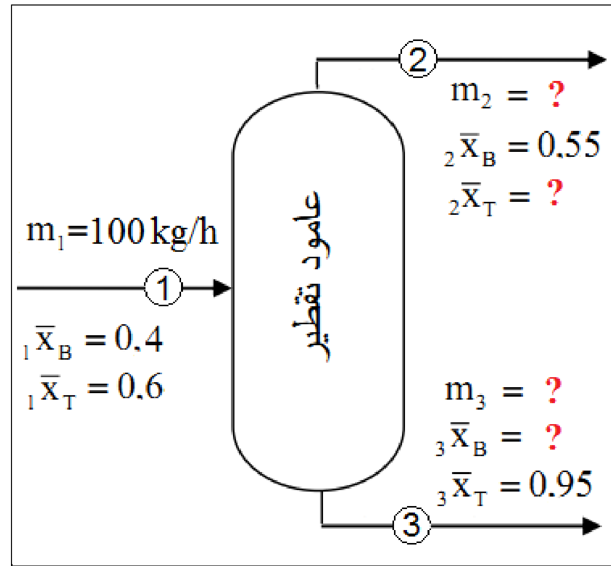
2 - حول الكمية $1603.3\ kg/m^3$ إلى ما يقابلها بواحدة lb/ft^3 ، علماً ان عوامل التحويل هي: (1 lb = 0.454 kg) و (1 ft = 0.3048 m) . (الجواب: $100\ lb/ft^3$).

3 - حول درجة الحرارة 50 °F إلى ما يقابلها بالدرجة (°C) . (الجواب: 10 °C).

4 – احسب حجم 20 g من غاز H_2 موجودة تحت الضغط 2 atm ودرجة الحرارة 273 K ، علماً أن R=0.08206 atm·L/mol·K والكتلة المولية H_2=2 g/mol (الجواب: 112 L).

5 – احسب كتلة Na_2CO_3 اللازمة لتحضير 1 L من محلول $0.5N\text{-}Na_2CO_3$ ، علماً أن الكتلة المولية Na_2CO_3=106 g/mol ، ثم أحسب مولارية هذا المحلول.
(الأجوبة: الكتلة اللازمة: 26.5 g ، المولارية: 0.25 mol/L).

6 – المطلوب إجراء الموازنة المادية لعملية تقطير مزيج من التولوين والبنزن وفقاً لما هو مبين في المخطط أدناه:



(الأجوبة: $m_3 = 30\,\frac{kg}{h}, m_2 = 70\,\frac{kg}{h}, \ {}_3\bar{x}_B = 0.05, \ {}_2\bar{x}_T = 0.45$).

الملحق

الجدول 1-1 : الوحدات الدولية الأساسية Base SI units والملحقة Supplementary

الجدول 1-2a : الوحدات الدولية المشتقة ذات الأسماء الخاصة.

الجدول 1-2b : وحدات إضافية عامة مشتقة تابعة للجملة الدولية.

الجدول 1-3 : البادئات (المضاعفات والأجزاء) الخاصة بالجملة الدولية.

TABLE 1-1 SI Base and Supplementary Quantities and Units

Quantity or "dimension"	SI unit	SI unit symbol ("abbreviation"); Use roman (upright) type
Base quantity or "dimension"		
length	meter	m
mass	kilogram	kg
time	second	s
electric current	ampere	A
thermodynamic temperature	kelvin	K
amount of substance	mole*	mol
luminous intensity	candela	cd
Supplementary quantity or "dimension"		
plane angle	radian	rad
solid angle	steradian	sr

*When the mole is used, the elementary entities must be specified; they may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles, or specified groups of such particles.

TABLE 1-2a Derived Units of SI that Have Special Names

Quantity	Unit	Symbol	Formula
frequency (of a periodic phenomenon)	hertz	Hz	1/s
force	newton	N	$(kg\cdot m)/s^2$
pressure, stress	pascal	Pa	N/m^2
energy, work, quantity of heat	joule	J	N·m
power, radiant flux	watt	W	J/s
quantity of electricity, electric charge	coulomb	C	A·s
electric potential, potential difference, electromotive force	volt	V	W/A
capacitance	farad	F	C/V
electric resistance	ohm	Ω	V/A
conductance	siemens	S	A/V
magnetic flux	weber	Wb	V·s
magnetic-flux density	tesla	T	Wb/m^2
inductance	henry	H	Wb/A
luminous flux	lumen	lm	cd·sr
illuminance	lux	lx	lm/m^2
activity (of radionuclides)	becquerel	Bq	1/s
absorbed dose	gray	Gy	J/kg

TABLE 1-2b Additional Common Derived Units of SI

Quantity	Unit	Symbol
acceleration	meter per second squared	m/s^2
angular acceleration	radian per second squared	rad/s^2
angular velocity	radian per second	rad/s
area	square meter	m^2
concentration (of amount of substance)	mole per cubic meter	mol/m^3
current density	ampere per square meter	A/m^2
density, mass	kilogram per cubic meter	kg/m^3
electric-charge density	coulomb per cubic meter	C/m^3
electric-field strength	volt per meter	V/m
electric-flux density	coulomb per square meter	C/m^2
energy density	joule per cubic meter	J/m^3
entropy	joule per kelvin	J/K
heat capacity	joule per kelvin	J/K
heat-flux density, irradiance	watt per square meter	W/m^2
luminance	candela per square meter	cd/m^2
magnetic-field strength	ampere per meter	A/m
molar energy	joule per mole	J/mol
molar entropy	joule per mole-kelvin	J/(mol·K)
molar-heat capacity	joule per mole-kelvin	J/(mol·K)
moment of force	newton-meter	N·m
permeability	henry per meter	H/m
permittivity	farad per meter	F/m
radiance	watt per square-meter-steradian	$W/(m^2\cdot sr)$
radiant intensity	watt per steradian	W/sr
specific-heat capacity	joule per kilogram-kelvin	J/(kg·K)
specific energy	joule per kilogram	J/kg
specific entropy	joule per kilogram-kelvin	J/(kg·K)
specific volume	cubic meter per kilogram	m^3/kg
surface tension	newton per meter	N/m
thermal conductivity	watt per meter-kelvin	W/(m·K)
velocity	meter per second	m/s
viscosity, dynamic	pascal-second	Pa·s
viscosity, kinematic	square meter per second	m^2/s
volume	cubic meter	m^3
wave number	1 per meter	1/m

TABLE 1-3 SI Prefixes

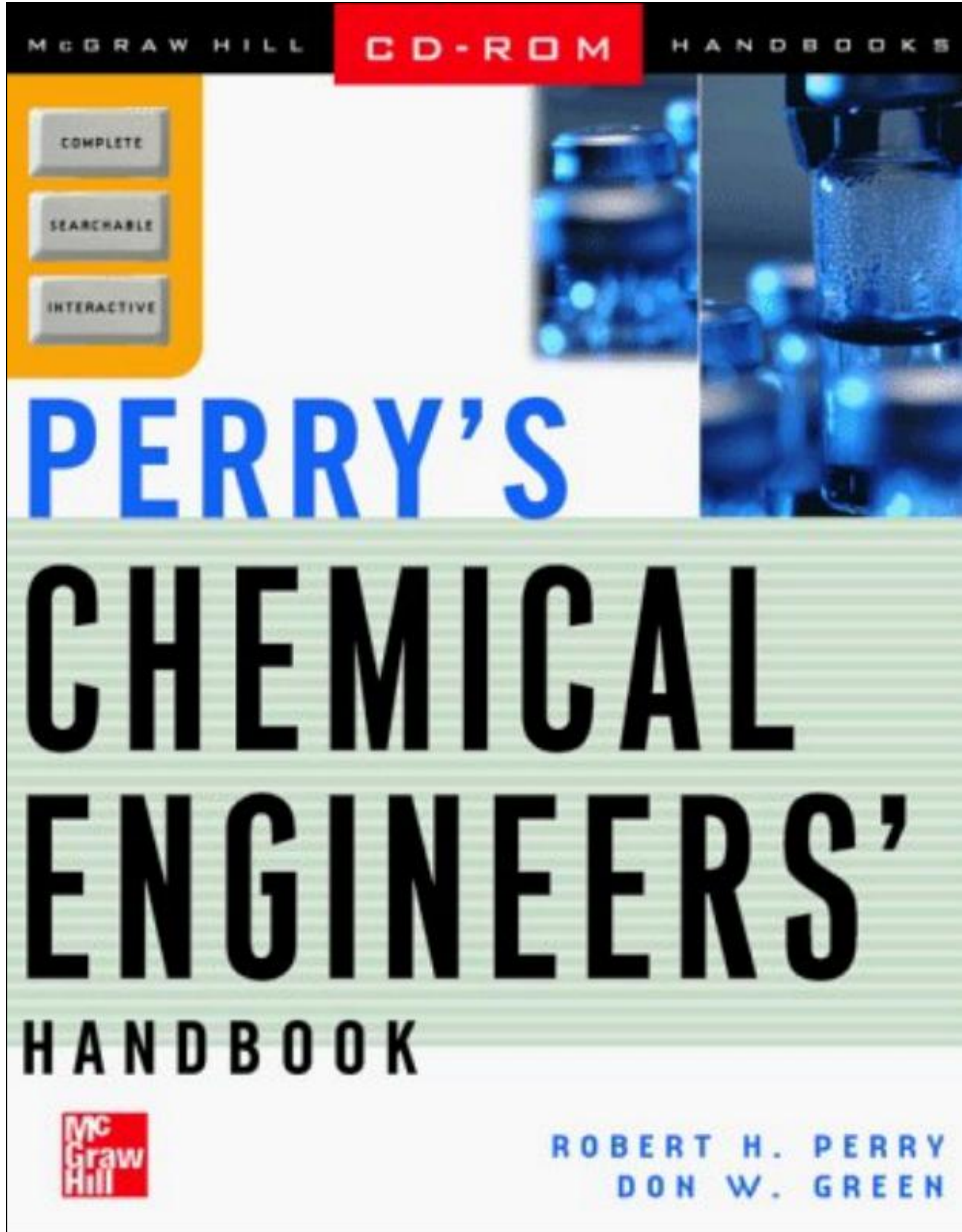
Multiplication factor	Prefix	Symbol
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{18}$	exa	E
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{15}$	peta	P
$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	tera	T
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^{9}$	giga	G
$1\ 000\ 000 = 10^{6}$	mega	M
$1\ 000 = 10^{3}$	kilo	k
$100 = 10^{2}$	hecto*	h
$10 = 10^{1}$	deka*	da
$0.1 = 10^{-1}$	deci*	d
$0.01 = 10^{-2}$	centi	c
$0.001 = 10^{-3}$	milli	m
$0.000\ 001 = 10^{-6}$	micro	μ
$0.000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	nano	n
$0.000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	pico	p
$0.000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$	femto	f
$0.000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$	atto	a

*Generally to be avoided.

المرجع الرئيسي للمهندس الكيميائي

Perry's Chemical Engineers' Handbook

هو كتيِّب المهندسين الكيميائيين للمؤلف Robert H. Perry رئيس قسم الهندسة الكيميائية في جامعة أوكلاهوما في الولايات المتحدة الأمريكية. شارك في تأليف هذا المرجع عدد كبير من الأساتذة المختصين)، ويتراوح عدد صفحاته ٢٦٤٣ صفحة. اسم هذا المرجع:

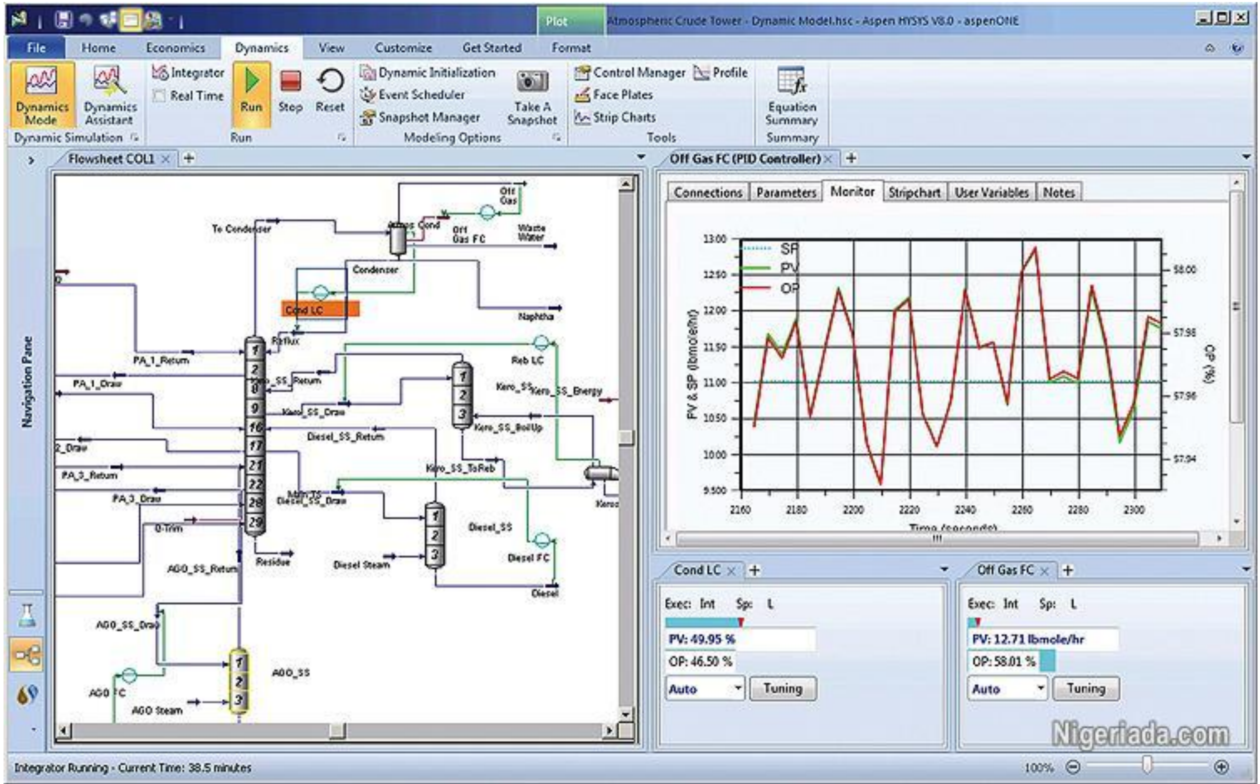


تطبيقات الحاسوب الخاصة بالهندسة الكيميائية
Chemical Engineering Software

أهم التطبيقات البرمجية المستخدمة في الوقت الحاضر على مستوى الشركات الكيميائية والبترولية والبتروكيميائية سواءً الشركات المنتجة (المالكة لخطوط الانتاج) أو شركات الدراسات والاستشارات الهندسية، هي:

- Aspen HYSYS و Aspen Plus
- AutoCAD Plant 3D

أولاً: التطبيق Aspen HYSYS للمهندسين الكيميائيين :



يتم تمثيل أي عملية صناعية وفقاً للعمليتين الأساسيتين التاليتين:

١- النمذجة Modeling : أي إنشاء برنامج يشتمل على المعادلات الرياضية اللازمة لعمل نموذج عن العملية الصناعية وفقا للمدخلات المعلومة.

٢- المحاكاة Simulation : أي استخدام النموذج الذي تمت برمجته لعمل محاكاة للعملية الصناعية.

يستخدم برنامج Aspen HYSYS لتمثيل أي عملية صناعية لإنتاج منتج ما وفقاً لإحدى الحالتين :

١- تصميم العملية الصناعية Design: أي عمل تصميم (نموذج) للعملية الصناعية من الصفر وذلك قبل تشييد المنشأة الصناعية لتقييم الجدوى الاقتصادية والصناعية من العملية قبل البدء الفعلي في التنفيذ وعمل حسابات موازنة المادة والطاقة وحسابات درجات الحرارة والضغط البخاري والكميات والتركيب لكل من المدخلات والمخرجات للعملية الصناعية... إلخ

٢- تقييم العملية الصناعية Rating : أي محاكاة عملية صناعية قائمة (قيد العمل)، وذلك بهدف تقييم أدائها والتحقق من أنها تعمل بالشكل الأمثل، وكذلك للتغلب على الأعطال أو المشاكل التي تظهر أثناء عملها وحلها على البرنامج من خلال تغيير بارامترات التشغيل على النموذج للحصول على بارامترات التشغيل الأمثل ومن ثم تطبيقها على أرض الواقع.

ثانياً: التطبيق AutoCAD Plant 3D :



الغاية من هذا البرنامج:

رسم مخططات ثلاثية الأبعاد للمنشأة الصناعية بجميع تفصيلاتها، من الأجهزة الرئيسية (خزانات، خلاطات، مفاعلات، أبراج تقطير، أجهزة استخلاص، أجهزة البلورة، أجهزة الطحل والنخل ...إلخ) إلى مخططات الأنابيب والوصلات (P&IDs) التي تقوم بنقل الموائع والسوائل بين الأجهزة وسيور نقل المواد الصلبة ، وكذلك الأمر إلى الأجهزة الملحقة مثل المضخات والضواغط والصمامات وأجهزة التحكم... إلخ.

تحتوي هذه المخططات على الكثير من العناصر مثل المعدات بأسمائها – المحابس والصمامات وأرقامها – المعدات الميكانيكية وأرقامها – خطوط الشبكات وعلاماتها – الملحقات الاضافية مثل: فتحات التهوية و الصرف – الحوامل – الدعامات – والتجهيزات الاخرى وملصقات التعريف بالأجهزة شاملة اسهم اتجاهات سريان الموائع.

تُساعد هذه المخططات على فهم سير العملية، وحلقات التحكم، والترابط بين الأنظمة المختلفة، كما تُعدّ مخططات الأنابيب والوصلات (P&IDs) أساسيةً أيضًا في صيانة المصنع، حيث تُساعد في تحديد وتحديد مواقع المعدات اللازمة للصيانة واستكشاف الأخطاء وإصلاحها.

يتميز AutoCAD Plant 3D في بيئته الذكية للتعامل مع العناصر والأجسام حيث يسهل التعديل والإضافة ومعرفة المعلومات لأي جزء فالبرنامج يقوم بتجميع المعلومات الخاصة بالأجزاء بقاعدة بيانات SQL وعن طريقها يمكن عمل التقارير الخاصة بأي مشروع.

برامج أخرى خاصة بالهندسة الكيميائية:

Chemcad , DWsim , Apmonitor , ASCEND , MATLAB